

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Konstrukce a technologický postup výroby protahovacího nástroje pro
obrábění spojovací objímky

Construction and Technological Process of Pull Broach Making for
Coupling Sleeve Machining

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Petr Havelka
doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Havelka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Konstrukce a technologický postup výroby protahovacího nástroje pro
obrábění spojovací objímky
Construction and Technological Process of Pull Broach Making for
Coupling Sleeve Machining

Zásady pro vypracování:

1. Návrh zubové mezery nástroje a tvaru břitu.
2. Výpočet síly potřebné k protažení.
3. Volba obráběcího materiálu a pevnostní kontrola.
4. Náhrada evolventy kružnicí a realizace děliče třisek.
5. Technologický postup výroby nástroje včetně tepelného zpracování a podmínek renovace.

Seznam doporučené odborné literatury:

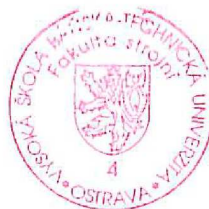
SCHMIDT, E. *Příručka řezných nástrojů*, Praha: SNTL Praha, 1967, 484 s.
ŠVEC, S. *Řezné nástroje*, Praha: ČVUT Praha, 1970, 368 s.
ŠVEC, S. *Protažovací trny a protahování*, Sborník semináře, Praha, 1970, 160 s.
ŘASA, J. *Výpočetní metody v konstrukci řezných nástrojů*, Praha: SNTL Praha, 1986, 464 s.
NORMY, PROSPEKTY, KATALOGY


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Ivan Mrkvica**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2010

Havelka Petr
.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB–TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2010

Havelka Petr
.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Havelka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nový Jičín, Beskydská 240

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HAVELKA, P. *Konstrukce a technologický postup výroby protahovacího nástroje pro obrábění spojovací objímky: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 50 s. Vedoucí práce: Mrkvica, I.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení a technologií výroby protahovacího nástroje. Úvod shrnuje možnosti využití technologie obrábění protahovacím trnem. Rozpracované teoretické poznatky konstrukčního provedení řezné části nástroje jsou aplikovány na konkrétní řešení. Navrhovaný trn pro výrobu evolventního ozubení zohledňuje konstrukční odlišnosti od klasických protahovacích nástrojů. V části zaměřené na výrobu jsou podrobněji zmíněny stěžejní výrobní operace, které mají rozhodující vliv na kvalitu trnu. Návrh nástroje ukazuje obecně využitelné rozdíly mezi složeným a celistvým protahovacím trnem. Závěr práce obsahuje ekonomické vyhodnocení obrábění navrženým nástrojem.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HAVELKA, P. *Construction and Technological Process of Pull Broach Making for Coupling Sleeve Machining: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2010, 50 p. Thesis head: Mrkvica, I.

This work deals with the structural design and manufacturing technology of broaching tool. The introduction summarizes the possibilities of application of technology for machining with broaching tool. Detailed theoretical solutions of the structural design of tool cutting part is applied to specific intent. The designed broaching tool for machining of involute gearing considers the construction differences from conventional broaching tools. The main manufacturing operations which have the predominant influence on broaching tool quality are described in detail in the chapter focused in manufacturing. The design of tool shows the generally used differences between composite and solid broach. The conclusion comprises the economic evaluation of machining with the designed tool.

OBSAH

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS	5
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	7
ÚVOD	9
1 SPOJOVACÍ OBJÍMKA	10
1.1 Popis a funkce spojovací objímky	11
1.2 Možné technologie výroby spojovací objímky	12
2 KONSTRUKCE PROTAHOVACÍHO TRNU	15
2.1 Zubová mezera	16
2.2 Geometrie bříty	18
2.3 Rozměrový návrh řezné části trnu	20
2.4 Děliče třísek	21
2.5 Návrh děličů třísky protahovacího trnu	22
2.6 Upínací části protahovacího trnu	23
2.7 Náhrada evolventy kružnicí	24
2.8 Návrh náhradního ozubení spojovací objímky	28
2.9 Tažná síla	30
2.10 Kontrola pevnosti a řezný materiál	31
2.11 Provozní zatížení navrhovaného složeného trnu	32
2.12 Výkresová dokumentace navrhovaného protahovacího trnu	40
3 TECHNOLOGIE VÝROBY PROTAHOVACÍHO TRNU	41
3.1 Třískové opracování	41
3.2 Tepelné zpracování	42
3.3 Broušení	43
3.4 Ostření a renovace	45
3.5 Technologický postup výroby protahovacího trnu	45
4 EKONOMIKA PROVOZU	46
4.1 Srovnání variant výroby	46
ZÁVĚR	47
PODĚKOVÁNÍ	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
SEZNAM PŘÍLOH	50

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

D_{kot}	Průměr brusného kotouče	[mm]
D_v	Rozměr přes válečky	[mm]
F_0	Síla předepětí spoje	[N]
F_z	Řezná síla	[N]
M_u	Utahovací moment	[N·m]
M_z	Třecí moment závitů	[N·m]
N_{kr}	Eulerova kritická síla	[N]
P_h	Stoupání závitů	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_k	Poloměr náhradní kružnice	[mm]
R_{OE}	Poloměr oskulační kružnice evolventy	[mm]
W_k	Modul odporu průřezu v krutu	[mm ³]
X_s	Souřadnice x středu náhradní kružnice	[mm]
Y_s	Souřadnice y středu náhradní kružnice	[mm]
b'	Rozteč mezi děliči třísky	[mm]
b_{zi}	Šířka záběru jednoho zubu	[mm]
c	Tuhost	[N·m ⁻¹]
d_v	Míra od středu po povrch kontrolního válečku	[mm]
f_s	Součinitel smykového tření pod šroubem	[-]
f_z	Součinitel smykového tření v závitě	[-]
k_d	Počet děličů třísky	[-]
k_s	Součinitel bezpečnosti šroubu	[-]
m	Modul	[mm]
r	Poloměr roztečné kružnice	[mm]
r_b	Poloměr základní kružnice	[mm]

r_v	Poloměr kontrolního válečku	[mm]
s_z	Tloušťka odřezávané třísky	[mm]
$t_{opt,w}$	Optimální tolerance míry přes zuby	[mm]
v_{fv}	Vektor rychlosti posuvu	[mm·min ⁻¹]
x_m	Posunutí základního profilu	[mm]
z	Počet zubů	[-]
Δ_v	Vzdálenost mezi kontrolním válečkem a patním průměrem trnu	[mm]
α	Úhel záběru	[°]
δ	Úhel pro bod ležící současně na evolventě a roztečné kružnici	[rad]
σ	Napětí	[MPa]
σ_{red}	Redukované napětí	[MPa]
τ	Smykové napětí	[MPa]
φ'	Redukovaný třecí úhel	[°]
ψ	Úhel stoupání závitů	[°]

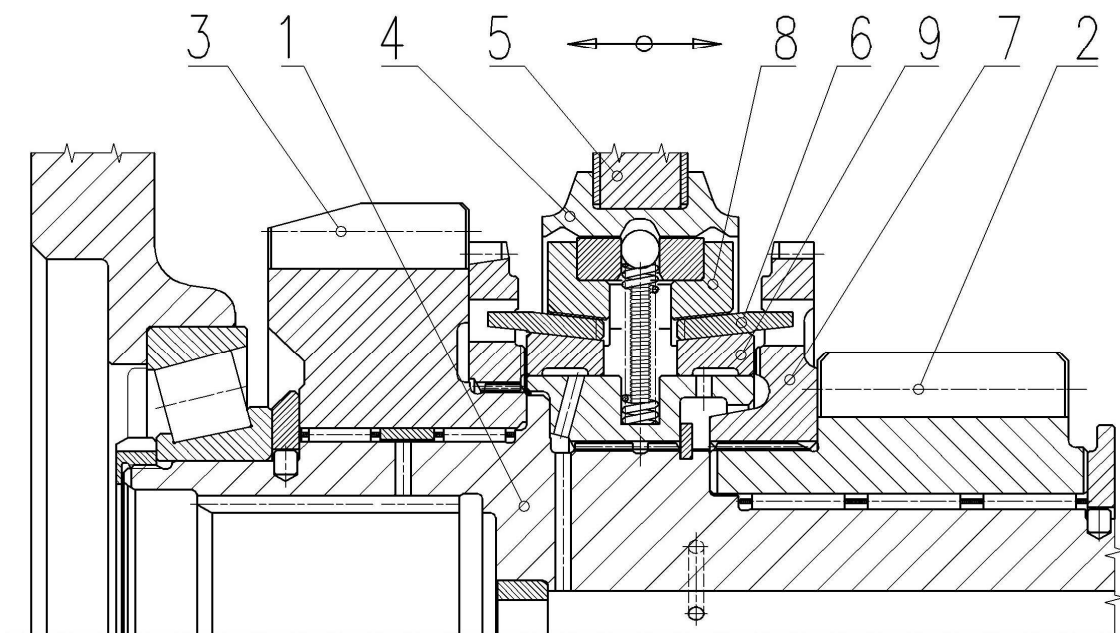
ÚVOD

Ekonomicky úspěšná strojírenská výroba je založena na využívání produktivních metod obrábění. Sloučení několika operací, obrábění součástí na co nejméně jednotlivých dílčích úkonů, přináší snižování výrobních nákladů. Mezi technologie obrábění, které tyto požadavky splňují, můžeme zařadit obrábění protahovacím trnem. Rozhodující vliv na jakost výrobků má u protahování nástroj. Obráběné plochy se postupně jedním nástrojem hrubují a následně kalibrují. Konstrukční a technologická náročnost provedení protahovacího trnu se odráží v jeho ceně. Uplatnění protahování je z těchto důvodů limitováno a užívá se převážně v hromadné a velkosériové výrobě. Počáteční finanční náklady, spojené s rozhodnutím realizovat tento druh obrábění, jsou většinou vyšší než u klasické výroby. Ekonomicky správné rozhodnutí, které vede k návratnosti vložených prostředků v reálném čase a následnému vytváření zisku, je podmíněno hlubší ekonomickou analýzou. U konstrukčně jednoduchých nástrojů je možné cenu odvodit porovnáním s již dříve vyráběnými nástroji, nebo propočtem teoretických výrobních nákladů. V případě protahovacích trnů, zvláště větších velikostí, je stanovení nákladů obtížnější. Protahovací trny na výrobu ozubení, které patří mezi tvarově složitější, přinášejí také další konstrukční a technologické aspekty, jejichž řešení vyžaduje celkový pohled na daný případ obrábění. Podklady, využívané pro rozhodnutí o zavedení technologie protahování složitějších obrobků, obsahují propracovanější konstrukční řešení, které potvrdí technickou realizovatelnost záměru, nebo ho vyvrátí. V případě kladného rozhodnutí o realizovatelnosti navrhovaného řešení se dále posuzují výhody, které toto řešení přináší. Hlavní výhody protahování spočívají v úspoře výrobních časů a zvyšování jakosti výrobků. Přínos v možnosti automatizace je podmíněn strojním vybavením. U složitějších obrobků je také nezanedbatelný přínos ve snížení zmetkovitosti.

Cílem této práce je navrhnout protahovací nástroj, rozpracovat nejdůležitější kroky jeho konstrukce a výroby pro konkrétní obráběný dílec, kterým je v tomto případě spojovací objímka. V závěru práce jsou vyhodnoceny ekonomické aspekty tohoto návrhu. Obecné poznatky z problematiky protahování a protahovacích trnů lze využít v následné konstrukci libovolného protahovacího nástroje.

1 SPOJOVACÍ OBJÍMKA

Protahovací nástroj je určen pro výrobu spojovací objímky, která patří mezi základní části většiny převodových mechanismů. Své nezastupitelné místo plní také v mechanických převodovkách. Účelem dvoustupňové převodovky je měnit převodový poměr mezi hnacím hřídelem a hnaným hřídelem. Synchronizační spojka, která obsahuje spojovací objímku, je podskupinou této převodovky. Funkci synchronizace zobrazuje schéma (obr. 1.1).



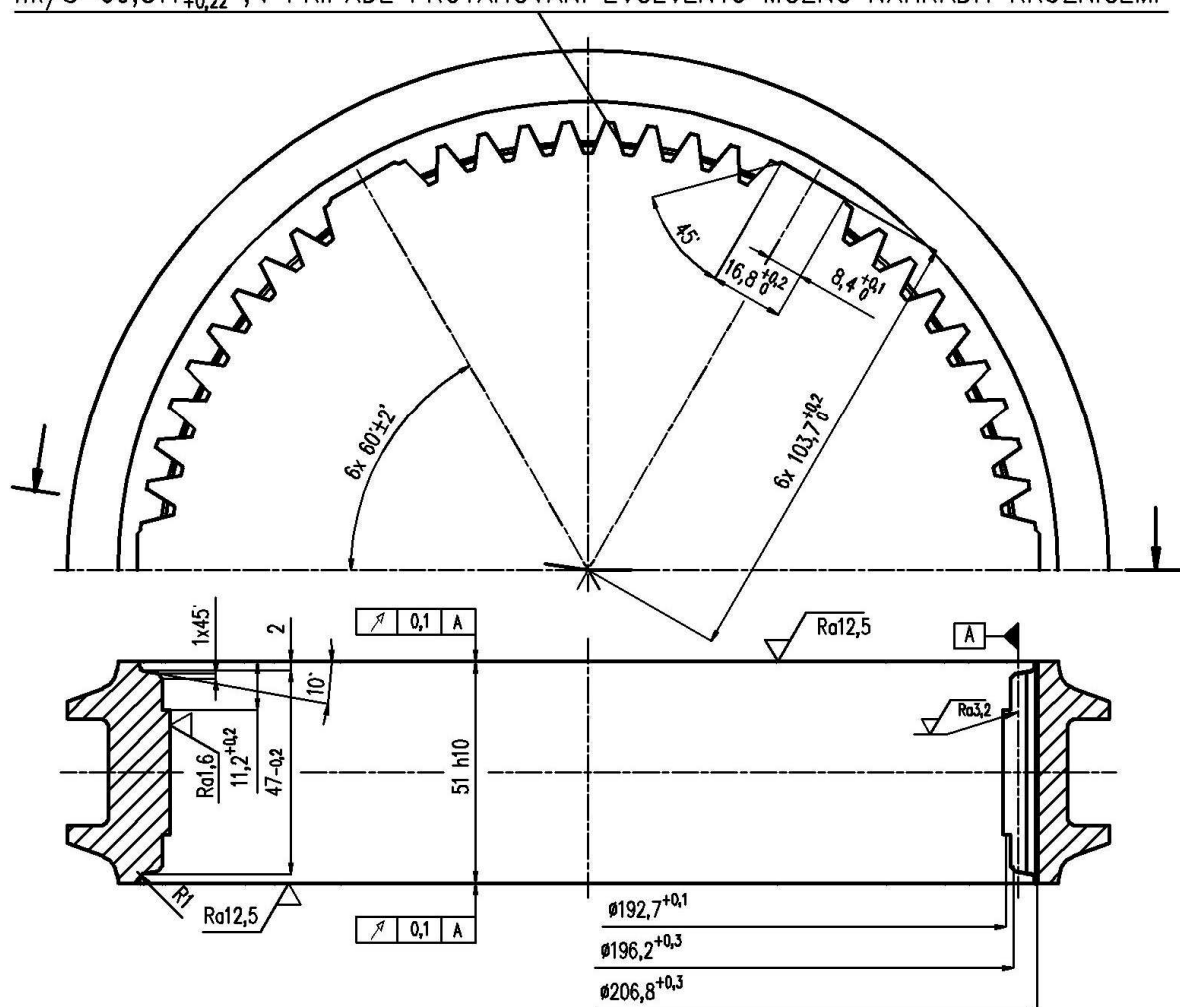
Obr. 1.1 Synchronizační spojka

Ve střední, nezařazené poloze se ozubená kola (2, 3) volně protáčí na rotujícím hnacím hřídeli (1). Tato kola jsou přes ozubení ve stálém záběru s hnaným hřídelem. Protáčení umožňují valivá jehlová ložiska. Při postupném posuvu zasouvací vidlice (5) směrem doprava se posune společně se spojovací objímkou (4) také kuželové pouzdro (8). Synchronizační lamela (6) je tímto posunutím sevřena mezi kuželové pouzdro a kroužek (9). Třecí záběr kuželových ploch způsobí, že se otáčky ozubeného kola (2) vyrovnají otáčkám hnací hřídele. Při dalším posuvu vidlice se zatlačí kulička do kuželového pouzdra a spojovací objímka se přesune do krajní polohy. Náběhové hrany vnitřního ozubení objímky umožní její nasunutí na ozubené kolo (7), které je trvale spojeno s kolem (2). Uskutečněný zubový záběr zajistí spojení hnací a hnané hřídele pro přenos kroutícího momentu. Stejná činnost synchronizační spojky je také pro posuv doleva.

1.1 Popis a funkce spojovací objímky

Při přenosu kroutícího momentu z hnací hřídele na hnanou hřídel plní spojovací objímka (obr. 1.2) funkci zubové spojky. Všechny zuby vnitřního ozubení objímky jsou současně v záběru s vnějším ozubením protikola a se všemi zuby náboje po kterém se objímka přesunuje. Přenášený krouticí moment namáhá objímku na krut. Síla spojená s momentem namáhá ozubení na tlak a ohyb. Rozměrová a tvarová přesnost ozubení má rozhodující vliv na rovnoměrné rozložení síly na jednotlivé zuby, což je základní podmínka správné funkce tohoto spojení.

EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ 204x3 ; $z=66$; $x_m=0,9$; $\alpha=20^\circ$; $M_i(\phi 5,5)=191,129^{+1,07}_{+0,67}$
 $W_k/8=69,811^{+0,35}_{+0,22}$; V PŘÍPADĚ PROTAHOVÁNÍ EVOLVENTU MOŽNO NAHRADIT KRUŽNICEMI



Obr. 1.2 Spojovací objímka, vnitřní tvar

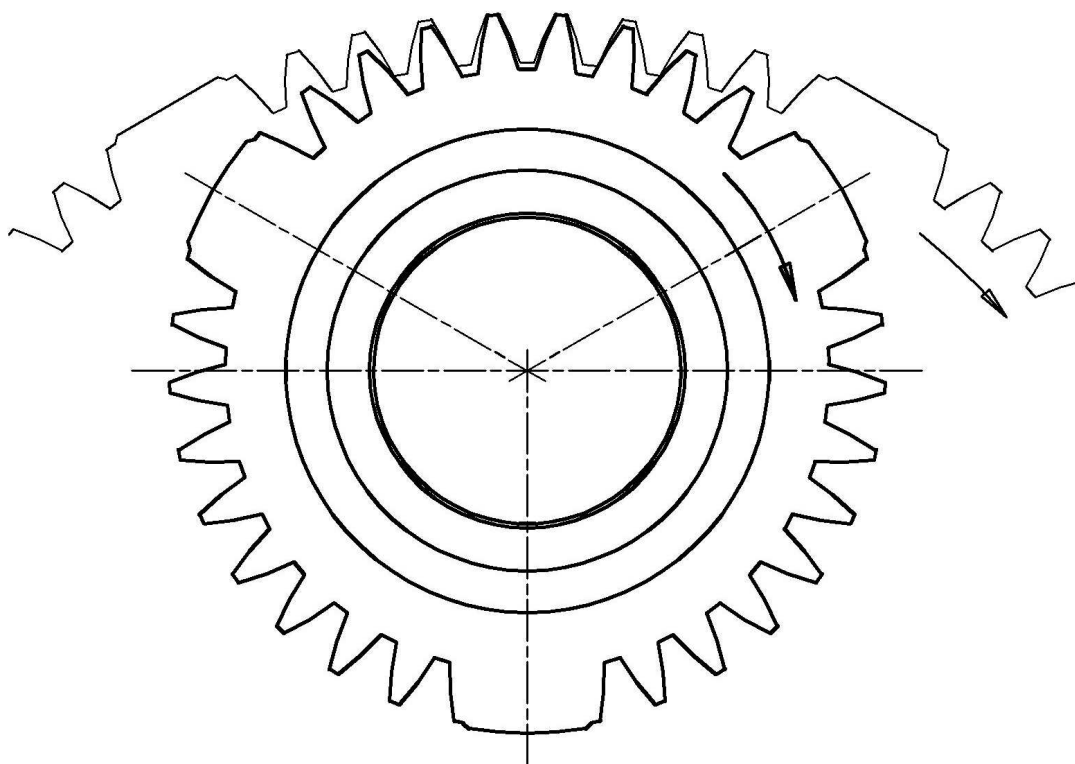
Výchozí polotovár pro výrobu spojovací objímky je tvarový výkovek z materiálu 14220. Vyžihání výkovku a následné zušlechťení na dolní mez pevnosti přispívá k rozměrové

stabilitě obrobku. Po třískovém opracování objímky je provedeno chemicko – tepelné zpracování, v tomto případě cementace, kalení a popouštění. Hloubka cementační vrstvy 0,6 – 0,8 mm při tvrdosti 58 – 62 HRC zaručí odolnost proti tlaku a opotřebení. Zušlechťené jádro odolává namáhání v ohybu a krutu. Při pevnosti jádra 900 – 1000 MPa se minimalizuje možnost vylomení zubů při zátěži a tedy znehodnocení celé objímky. Technologie kalení a popouštění nesmí narušit rozměrovou a geometrickou přesnost objímky.

1.2 Možné technologie výroby spojovací objímky

Strojírenských technologií obrábění je mnoho, ale při řešení konkrétního zadání se výběr vhodné metody obrábění velmi zužuje. Pro třískové obrábění nekruhových otvorů se ve strojírenské praxi převážně užívají technologie obrážení nebo protahování.

Obrážení vnitřního evolventního ozubení v kombinaci s drážkovým vybráním je umožněno při použití kotoučového obrážecího nože. Miskový obrážecí kotoučový nůž (obr. 1.3) pracuje na principu spoluzabírajícího soukolí bez vůle.

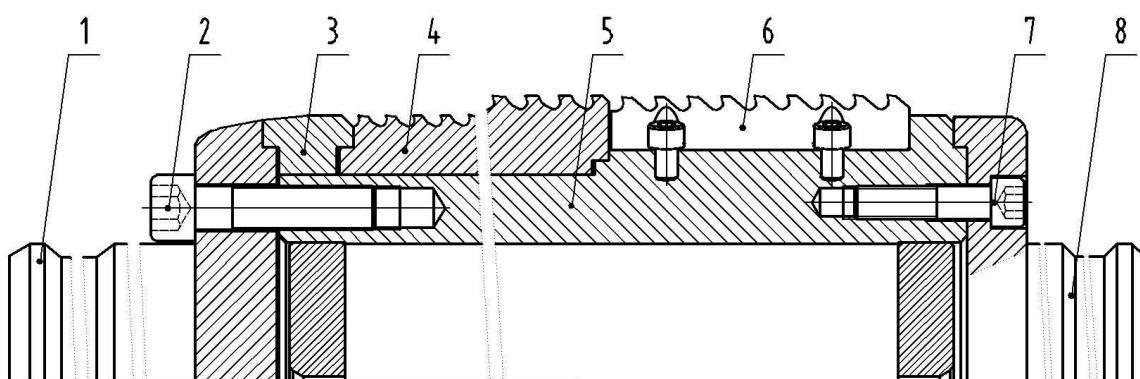


Obr. 1.3 Obrážecí kotoučový nůž

Profil nástroje určuje obalová křivka obrobku, při vzájemné poměrové rotaci. Části kotoučového nože, které zhotovují ozubení objímky, mají profil spojitě korigovaného ozubeného kola. Rychlostní poměr rotace nástroje a obrobku u odvalovacího obrážení

obecných tvarů má některé odlišnosti od obrázení jen samotných zubů. Tvar a velikost nástroje se odvíjí od počtu totožných úseků na obráběném dílci tak, aby byla zaručena plynulost obrázení při libovolném počtu otáček obrobku. Toto omezení také určuje rychlostní poměry nástroje a obrobku. Pro zamezení vzniku nežádoucího interferenčního záběru je určujícím prvkem minimální a maximální možná velikost nástroje. Vlivem opakovaného čelního přeastření otupeného nástroje dochází k tvarovým změnám profilu. Tyto změny mají podstatný vliv na životnost nástroje. Technologie obrázení je často používána pro svou nenáročnost a možnost automatizace. Obrázení rotačně symetrických, ale i obecných tvarů obrobku, lze provádět na běžných obrážkách na ozubení. U průměrově větších a vyšších obrobků je nevýhodou obrázení relativně dlouhý výrobní čas. Malý počet zubů nástroje způsobuje časté ostření a tím snižuje jeho celkovou životnost.

Druhou možností pro obrábění otvoru objímky je protahování. Podstatou protahování je postupné zhotovování tvaru obrobku nástrojem, který má negativní tvar vůči požadovanému profilu obráběného dílce. Protahování umožňuje obrábět vnější i vnitřní plochy. Nástrojem pro protahování vnitřních kruhových i obecných ploch je protahovací trn (obr. 1.4). Protahovací trn je osový, vícebřítý nástroj, který při protahování koná relativní pohyb vůči obrobku. Zhotovení celého tvaru otvoru jedním nástrojem, zkrácení výrobního času a snížení zmetkovitosti jsou výhody, které protahování přináší. Protahování s sebou přináší ale také některá omezení. Základní omezující podmínkou použití této technologie je průchozí otvor v obráběném dílci. Konstrukční řešení obráběné součásti musí zohlednit tuto skutečnost již při návrhu jejího vnitřního tvaru. Limitující tažná délka a síla vychází z technických možností stroje, ale také ze zhotovitelnosti nástroje.



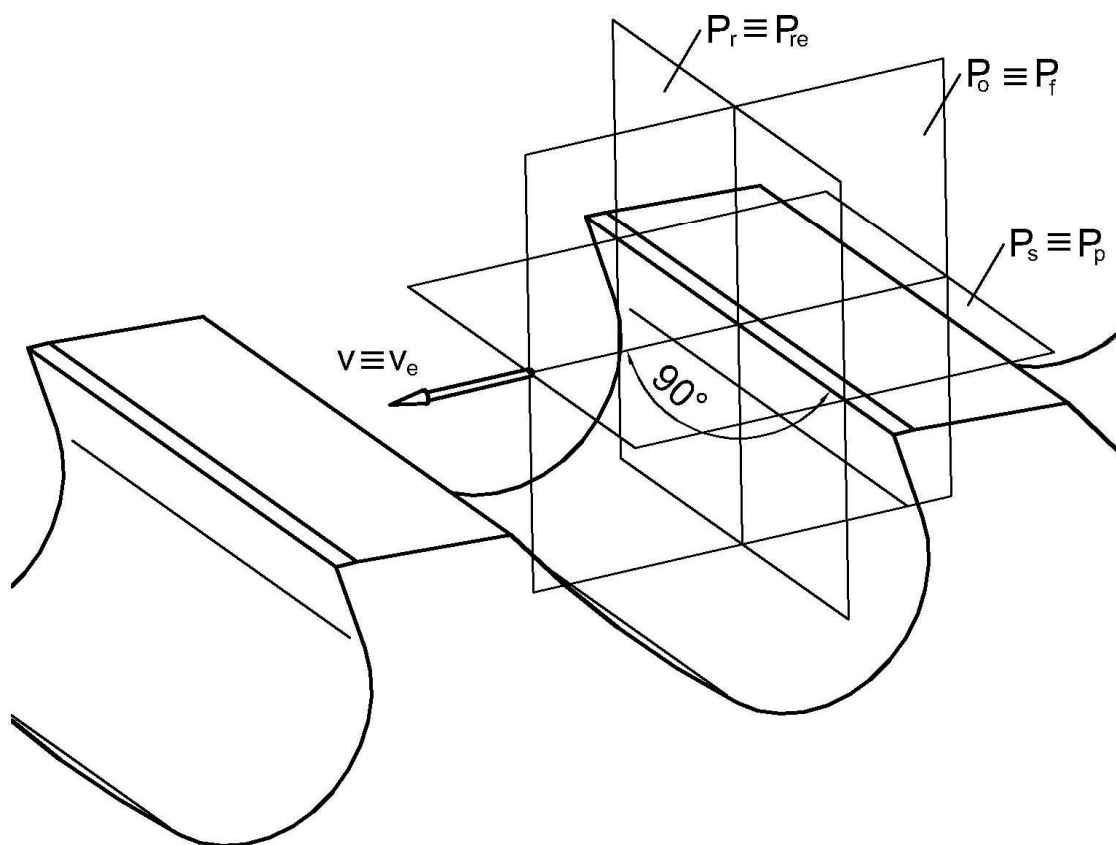
Obr. 1.4 Protahovací trn

Základní části navrhovaného protahovacího trnu (obr. 1.4) vycházejí z koncepce dělených nástrojů. Nosné těleso trnu (5) spojuje všechny jednotlivé prvky do kompaktního celku.

Přední tažná stopka (1) je přichycena předepjatými šrouby (2). Zaváděcí pouzdro (3) plynule navazuje na stopku a v první fázi řezu určuje polohu objímky vůči trnu. Trubkový tvar řezné části (4) dává možnost pro případné rozdělení na kratší segmenty. Samostatné ploché trny (6), dořezávající tvar drážek, jsou uchyceny přímo v nosném tělese. Zadní část trnu tvoří vodící stopka (8), kterou upevňují spojovací šrouby (7).

2 KONSTRUKCE PROTAHOVACÍHO TRNU

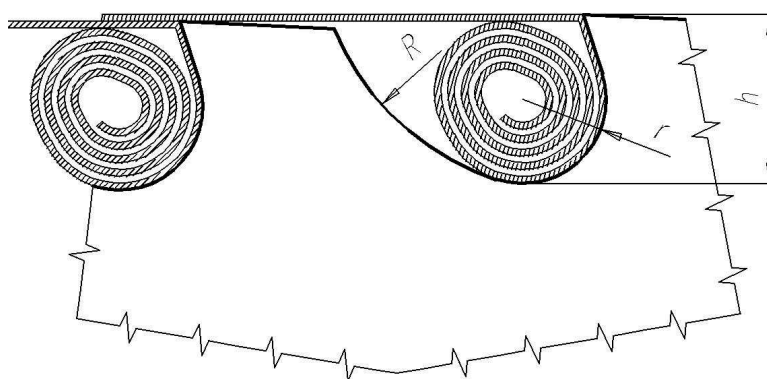
Jakost obrobených ploch, životnost a příznivá pořizovací cena jsou základní požadavky kladené na většinu nástrojů. Vhodné konstrukční řešení, které respektuje pracovní podmínky a zhotovitelnost nástroje, je první předpoklad úspěšné realizace protahovacího trnu. Omezení, vyplývající z technologie protahování, vymezují relativně úzký prostor, ve kterém se konstruktér nástroje může pohybovat. Obtížnost nalezení vhodného řešení se přímo odvíjí od zužování tohoto prostoru. Rozčlenění a zpracování jednotlivých dílčích částí konstrukčního provedení protahovacího trnu umožňuje stanovit obecnou strukturu postupu řešení. Jednoznačná definovatelnost souřadných rovin (obr. 2.1) [1] vychází z absence vektoru rychlosti posuvu v_{fv} . Ztotožněním předpokládaného a skutečného směru vektoru rychlosti hlavního pohybu dochází ke sjednocení statické a kinematické souřadnicové soustavy.



Obr. 2.1 Souřadnicová soustava protahovacího trnu

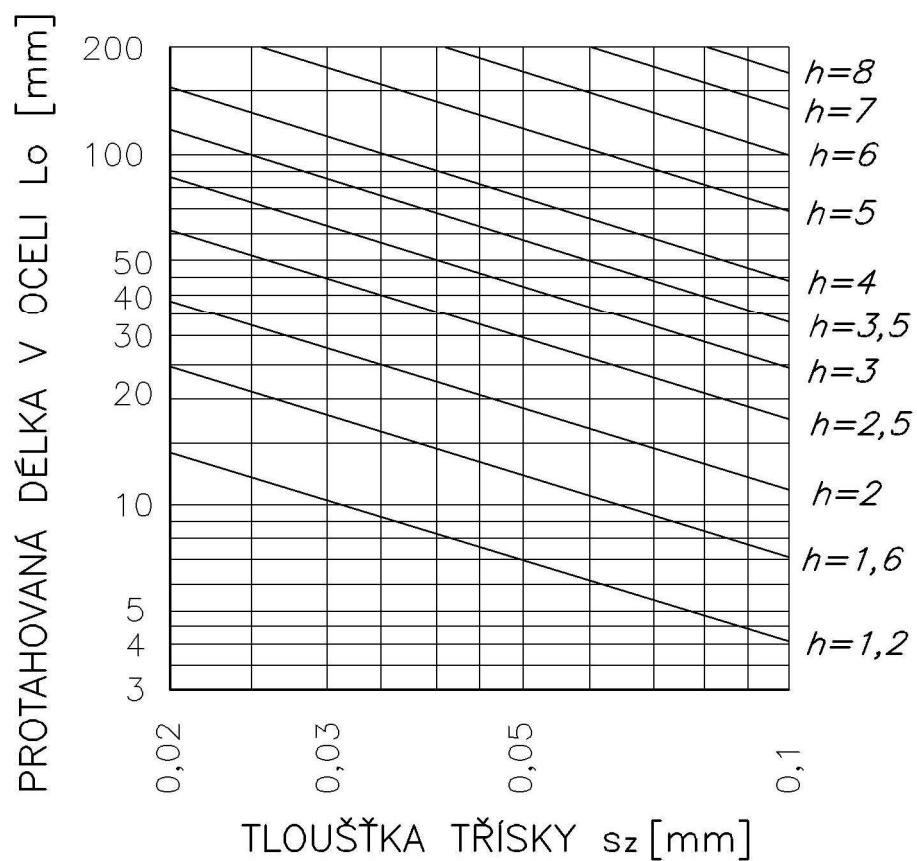
2.1 Zubová mezera

Konstrukční návrh zubové mezery představuje základní stavební článek celé konstrukce nástroje. Zubová mezera vytváří v průběhu obrábění uzavřený objem, který se vyplňuje odřezávanou třískou. Z nemožnosti odvést odřezávanou třísku v průběhu řezu vyplývá požadavek na její dostatečný objem. Vhodný tvar zubové mezery třísku utváří a po dokončení řezu umožňuje její uvolnění. Charakter odřezávané třísky dále ovlivňuje obráběný materiál a jeho mechanické vlastnosti, ostatní vlivy jsou méně významné. Celistvá tříška vzniká při protahování konstrukčních ocelí, litina a bronz vytváří třísku drobivou. Ocelové třísky tvaruje zubová mezera do podoby svitku vyobrazené na obr. 2.2 [2].



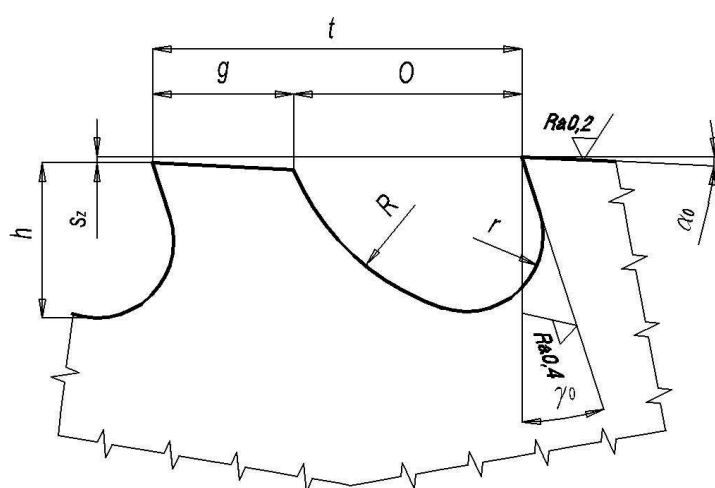
Obr. 2.2 Svitkový tvar třísky

Rozměry zubové drážky určují počet zubů a tím i celkovou délku nástroje. Hloubka drážky u nástrojů menších průměrů definuje jejich pevnost v tahu. Stanovení optimální velikosti zubové mezery přímo ovlivňuje správnou funkci, ale i efektivitu výroby a provozování nástroje. Nedostatečný objem zubové drážky způsobí spěchování třísky, které brání jejímu uvolnění. Pokud pěchování dosáhne kritické hodnoty, protahovací trn se trvale znehodnotí vylomením zubů. Příliš velká drážka prodlouží celkovou délku trnu a tím také potřebný čas k protažení obrobku. Určení velikosti řezné drážky vychází z objemového součinitele třísky, který popisuje závislost objemu nestlačené třísky k objemu odřezaného materiálu určité tloušťky. Tloušťka odřezávané třísky u protahovacích trnů, které slouží k výrobě vnitřního ozubení, se pohybuje v rozmezí od 0,03 do 0,1 mm v závislosti na modulu ozubení a omezené velikosti tažné síly. Spolehlivý a v praxi ověřený způsob stanovení velikosti řezné drážky pro protahování konstrukčních ocelí o pevnosti 600 – 950 MPa je uveden v nomogramu (obr. 2.3) [2]; protahovaná délka obrobku a tloušťka odřezávané třísky jsou vstupní hodnoty pro vyhledání hloubky drážky.



Obr. 2.3 Nomogram zubové mezery

Hloubka drážky h je řídicí rozměr pro určení zbývajících rozměrů zubové drážky (obr. 2.4) [2], které se odečtou z tabulky (tab.2.1) [2]



Obr. 2.4 Zubová mezera – řezný zub

Tab. 2.1 Rozměry zubové mezery [2]

h [mm]	r [mm]	R [mm]	g [mm]	O [mm]
1,2	0,6	2	1,5 až 2	2
1,6	0,8	2,5	1,5 až 2	2,5
2	1	3,5	1,5 až 2	3,5
2,5	1,25	4	2 až 2,5	4
3	1,5	5	2,5 až 3	5
3,5	1,75	6	3 až 3,5	6
4	2	7	3 až 3,5	7
5	2,5	8	4 až 4,5	8
6	3	10	4 až 5	10
7	3,5	12	4,5 až 5,5	12
8	4	13	5 až 6	13

Nomogram respektuje objemový součinitel ocelové třísky pro ploché i kruhové trny. U trnů na výrobu ozubení, které odebírají třísky malé tloušťky, je nutné vyhledanou hloubku drážky zvýšit o jeden stupeň. Toto zvýšení se provádí ze dvou základních důvodů. Výrobní tolerance a vznik možných následných rozměrových změn po přestřžení nástroje způsobí rozdíly v tloušťce odebírané třísky mezi dvěma na sebe navazujícími zuby. Příčný profil odřezávané třísky má tvar části mezikruží a tím zhoršenou deformovatelnost. Více stlačená tříska znehodnocuje již obrobené plochy ozubení.

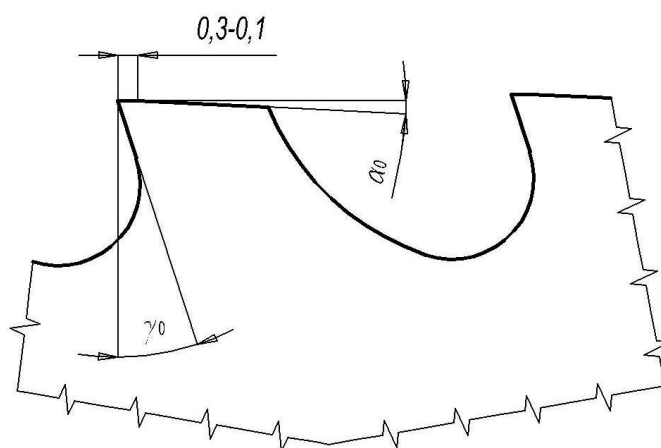
S řeznou drážkou souvisí také odstraňování ulpěných třísek, které po protažení z trnu neodpadnou. Řešením této technologické komplikace jsou plastové kartáče, které se při zpětném chodu trnu přichylují k jeho povrchu a tím přichycené třísky mechanicky odstraní. Následný oplach chladicí kapalinou zbaví trn i malých nečistot. Riziko spojené s nevypadlou třískou a následné protažení dalšího obrobku je větší u automatizované výroby, kde není prováděna přímá kontrola obsluhou protahovacího stroje.

2.2 Geometrie břitu

Dynamický charakter průběhu protahování je způsoben ortogonálním řezáním, při kterém je hlavní ostří nástroje kolmé na směr řezného pohybu. Všechny řezné části jedné zubové mezery vnikají současně do obráběného materiálu. Ukončení řezu jedné zubové mezery má stejný časový průběh. Cyklické změny vyvolané rozdílným počtem spoluzabírajících zubů negativně ovlivňují nástroj, a tím i řezný proces. Chvění nástroje vyvolané cyklickým

záběrem vzrůstá se zvyšující se rychlostí protahování a zmenšujícím počtem spoluzabírajících zubů. Osově nesymetrické nástroje jsou na vznik nebezpečného chvění více náchylné než nástroje osově symetrické. Stabilnějšího řezu lze docílit snížením řezné rychlosti nástroje na $1 - 2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [3], což však není ekonomicky přijatelné. Vhodná geometrie břitu nástroje napomáhá stabilizaci průběhu řezu. Hlavní vliv na plynulost a zamezení vzniku vibrací má úhel hřbetu. Fasetka a menší úhel hřbetu zvyšuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Zvýšené tření zvětší řezný odpor, ale na stabilitu řezu má pozitivní vliv. Úhel čela závisí nejvíce na obráběném materiálu. Větší úhel způsobí snížení řezné síly, trvanlivost řezné hrany se však sníží.

Protahovací nástroj má zuby řezací a kalibrovací. Profil kalibrovacího zubu obr. 2.5 [4] se liší od řezného zubu fasetkou, velikostí úhlu čela a hřbetu.



Obr. 2.5 Kalibrovací zub

Rozdělení protahovacích trnů podle souměrnosti k ose a jejich zubů na řezací a kalibrovací umožnilo sestavit tabulky rozmezí vhodných úhlů. Tabulka 2.2 (sestavena a upravena podle údajů v [2] a [5]) uvádí řezné úhly používané v praxi pro některé materiály. Úhel čela symetrických a nesymetrických nástrojů je shodný.

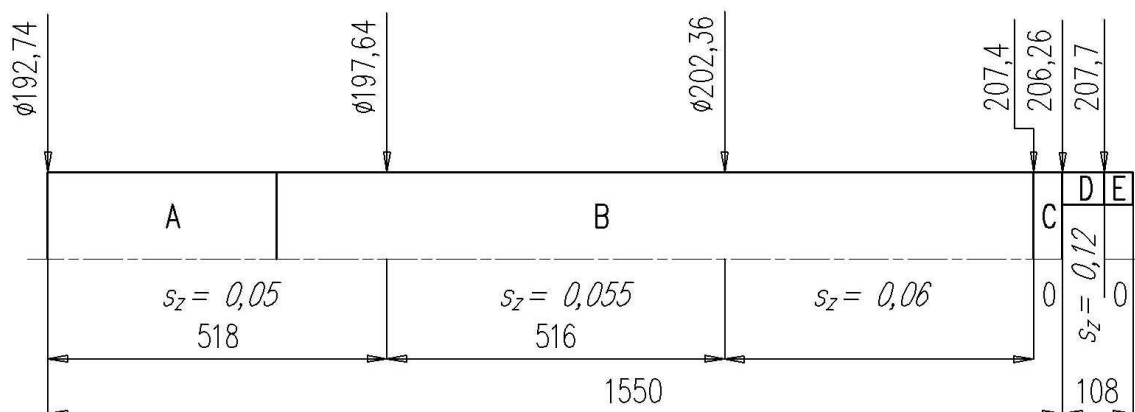
Tab. 2.2 Úhly protahovacích trnů

Obráběný materiál	Symetrické				Nesymetrické	
	Úhel čela [°]		Úhel hřbetu [°]		Úhel hřbetu [°]	
	řezací	kalibrovací	řezací	kalibrovací	řezací	kalibrovací
Ocel do pevnosti 500 MPa	15 – 20	20	3	1	2	1
Ocel do pevnosti 700 MPa	12 – 18	18	3	1	1,5	0,75
Ocel do pevnosti 950 MPa	10 – 15	15	2 – 3	0,5 – 1	1	0,5
Ocel na odlitky	4 – 8	10	2 – 3	2	2	1

Každý řezný břit má určité minimální zaoblení, které limituje nástroj pro odřezání nejmenší možné tloušťky třísky. Břit nemůže odebrat třísku tenčí než je poloměr zaoblení. Limitní hranice třísky se pohybuje přibližně na dvojnásobku poloměru zaoblení. Velikost zaoblení břitu nástroje je závislá na použitém řezném materiálu a drsnosti opracování čelní a hřbetní plochy zubu. Břit nástroje zhotoveného z materiálu 19 830 a drsnosti opracování $R_a = 0,4$ dosahuje průměrné zaoblení $r_n = 0,008$ mm, při drsnosti $R_a = 0,2$ dosahuje zaoblení $r_n = 0,005$ mm [3]. Otlupováním nástroje se zaoblení břitu zvětšuje. Odřezáváním třísky tenčí než 0,03 mm dochází k velkému nárůstu řezné síly a zhoršení kvality opracovaných ploch. Neúměrně se zkracuje také čas do přestavení nástroje, což má vliv na jeho celkovou životnost.

2.3 Rozměrový návrh řezné části trnu

Návrh řezné části protahovacího trnu pro výrobu spojovací objímky (obr. 1.2) zahrnuje stanovení profilu a počtu jednotlivých zubů. Celková délka řezné části nástroje je součet roztečí jednotlivých zubů prodloužena o technologické úseky nutné pro broušení a kontrolu. Optimální tloušťka odřezávané třísky 0,05 – 0,06 mm zaručí požadovaný stupeň jakosti povrchu. Šířka řezu zubové drážky se od počátku trnu zmenšuje v závislosti na profilu zubu. Využití rozdílné šířky řezu k odstupňování tloušťky odebírané třísky umožní zkrácení trnu. První zuby odebírají tloušťku třísky 0,05 mm, střední část 0,055 mm a zuby v zadní části 0,06 mm. Odstupňování má příznivý vliv na tažnou sílu a tím i na plynulost protahování. Dvě rozdílné protahované délky 28,6 a 47 mm umožňují odstupňování velikosti zubové mezery. Rozměrový návrh protahovacího trnu na obr. 2.6 má pět sekcí (A – E). Řezné zuby (A,B,D) mají tvar podle obr. 2.4, kalibrovací zuby (C, E) podle obr. 2.5; počet a výrobní rozměry jsou uvedeny v tab. 2.3. Počet současně zabírajících řezných drážek pro délku 28,6 mm cykluje mezi dvěma a třemi, pro délku 47 mm mezi třemi a čtyřmi.



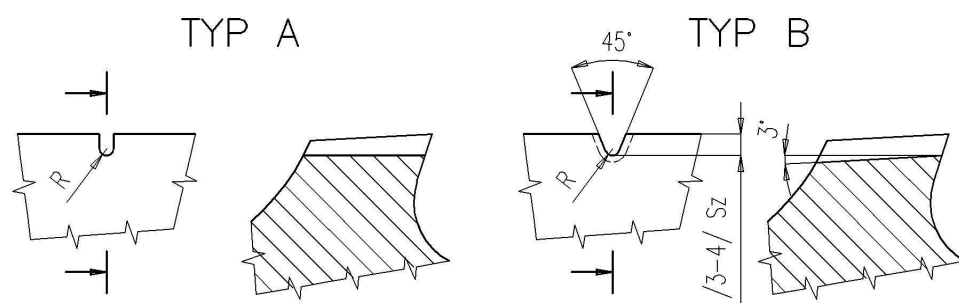
Obr. 2.6 Rozměrový návrh trnu

Tab. 2.3 Výrobní rozměry zubů (sekce podle obr. 2.6)

Sekce	Počet zubů	h [mm]	Rozteč zubů [mm]	Úhel čela [°]	Úhel hřbetu [°]
A	35	4	10	12	3
B	97	5	12	18	3
C	3	5	12	18	1
D	7	5	12	15	3
E	2	5	12	18	1

2.4 Děliče třísek

Svitková tříska, která vzniká v průběhu protahování, je stlačována v zubové mezeře a příčným rozměrem se dotýká již obrobeného povrchu. Tření o obrobek způsobuje zvýšení tažné síly a narušení obrobených ploch. Průběh obrábění se zhoršuje s délkou řezu a šířkou obráběné plochy. Přerušením řezného břitu podélnou drážkou ve směru řezného posuvu se vytvoří dělič třísky. Tím se tříska jednostranně uvolní a tlak na obrobenou plochu se zmírní. Dělená tříska se snadněji uvolňuje ze zubové mezery a tím se sníží riziko neodstranění třísky před dalším tahem. Trny pro protahování kruhových otvorů nelze bez děličů realizovat. Svitek ve tvaru celistvého prstence, uzavřený v zubové drážce, nelze odstranit. Provedení děličů má dvě základní varianty obr. 2.7 [5].



Obr. 2.7 Provedení dělčů

Dělčič ve tvaru drážky, typ A, je zhotoven do hřbetní části zubu. Drážka šířky 0,5 – 1 mm vybroušená drážkovacím kotoučem vytváří vedlejší ostří s nulovým úhlem hřbetu. Tento nedostatek, společně s nevhodným úhlem mezi hlavním a vedlejším ostřím vzniklého dělčiče, způsobuje vlivem tření větší otupení v místě styku hlavního a vedlejšího ostří. Výhoda těchto dělčičů je v nenáročné výrobě. Hloubka dělčiče závisí na úhlu hřbetu a délce využitelné části zubu tak, aby při opakovaném čelním ostření nedošlo k jeho vymizení.

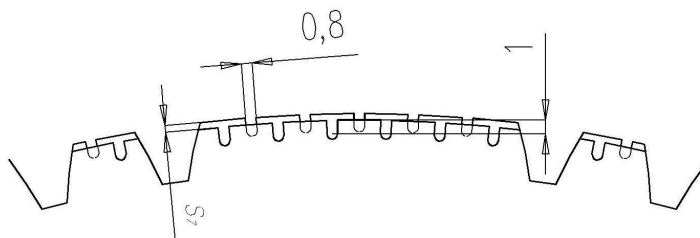
Dělič typu B vybroušený do zubu pod úhlem hřbetu zachovává stejný profil a velikost i po čelním přeastření. Úhel rozevření děliče spolu s úhlem hřbetu zubu definuje úhel hřbetu vedlejšího ostří. Větší úhel rozevření děliče zvětší úhel hřbetu, což má příznivý vliv na otupení. Šířka děliče při hloubce trojnásobku tloušťky třísky omezuje rozevření na rozsah 30 – 60°. Tento rozsah je dostatečný pro snížení tření a otupení v místě přechodu hlavního ostří do děliče je jen nepatrně větší než u hlavního břitu. Dělič typu B je vhodný pro nástroje s větší roztečí zubových drážek, u kterých je dostatečný prostor pro výběh brusného kotouče. Pro nástroje s běžnou roztečí zubových drážek je tento dělič výrobně nevhodný, protože průměr brusného kotouče je omezen břitem následného zubu na malou velikost. Výstupek šířky děliče vzniklý po protažení na obrobku odebere následující zub trnu, jehož dělič je přesazen o polovinu vzdálenosti mezi děliči. Poslední výstupky odebere kalibrovací zub, který děliče nemá. Optimální rozteč mezi děliči určuje vztah (2.1), uvedený v [4].

$$b' = 3 + 100 \cdot s_z \cdot \operatorname{tg} 10^\circ \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

O nutnosti použití, umístění a vzdálenosti mezi děliči rozhoduje také tvar obráběného dílce.

2.5 Návrh děličů třísky protahovacího trnu

Šířka zubu navrhovaného protahovacího trnu vyžaduje použití děličů do dvou třetin délky trnu. Současné protahování profilu zubu a vybrání ve tvaru drážky je realizováno trnem, na kterém jsou vynechány zubové mezery. Sekce tří spojených zubů, pootočené po šedesáti stupních, předhrubují tvar drážek. Břity vzniklé spojením zubů mají děliče po celé délce trnu. Rozmístění děličů podle obr. 2.8 šachovnicovým způsobem zaručuje jejich překrytí.



Obr. 2.8 Rozmístění děličů

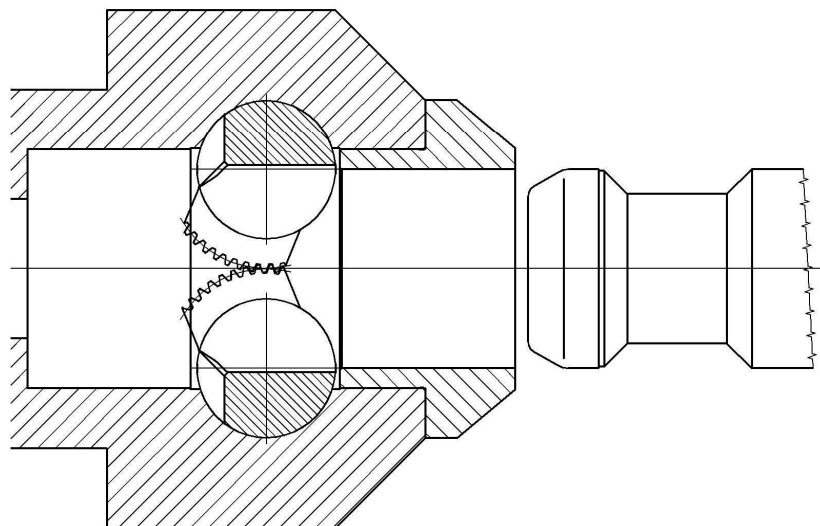
V závislosti na zužujícím se hřbetu zubu se mění rozteč mezi děliči tak, aby neodřezaný výstupek byl vždy uprostřed delší části následného zubu rozděleného děličem. Nedodržení

rozdělení zhoršuje deformaci třísky, která má v místě předchozího děliče dvojnásobnou tloušťku. Ploché trny dokončující drážkové vybrání mají děliče jen na řezných zubech.

Navrhovaný trn s více než 5000 děliči a malá rozteč zubových mezer takřka vylučuje možnost použít děliče typu B, děliče typu A jsou v tomto případě z výrobních důvodů vhodnější.

2.6 Upínací části protahovacího trnu

Vedení protahovacího trnu při obrábění a přenos tažné síly zajišťuje vodicí a tažná stopka. Rozměry a provedení tažné a vodicí stopky vychází z upínacích mechanismů stroje. Stopky a řezná část protahovacího trnu mohou být zhotoveny z jednoho kusu nebo jednotlivě formou skládaného nástroje. Celistvé provedení je konstrukčně jednodušší, protože neobsahuje žádné spoje. K nutnosti rozdělit nástroj na více částí dochází převážně z výrobních důvodů. Nejběžněji používané rozdělení na tři části vychází z celistvé řezné části, ke které se připojí stopky. Závit v kombinaci s kalibrickým průměrem zajišťuje dostatečnou tuhost a geometrickou přesnost spoje. Použití cementačního materiálu na výrobu tažné stopky je podmíněno tloušťkou cementační vrstvy minimálně 1 mm. U nástrojů celistvých jsou stopky popuštěny na 45 HRC. Přenos tažné síly je realizován pomocí tažné hlavy (obr. 2.9), která je spojovacím článkem mezi strojem a protahovacím trnem.



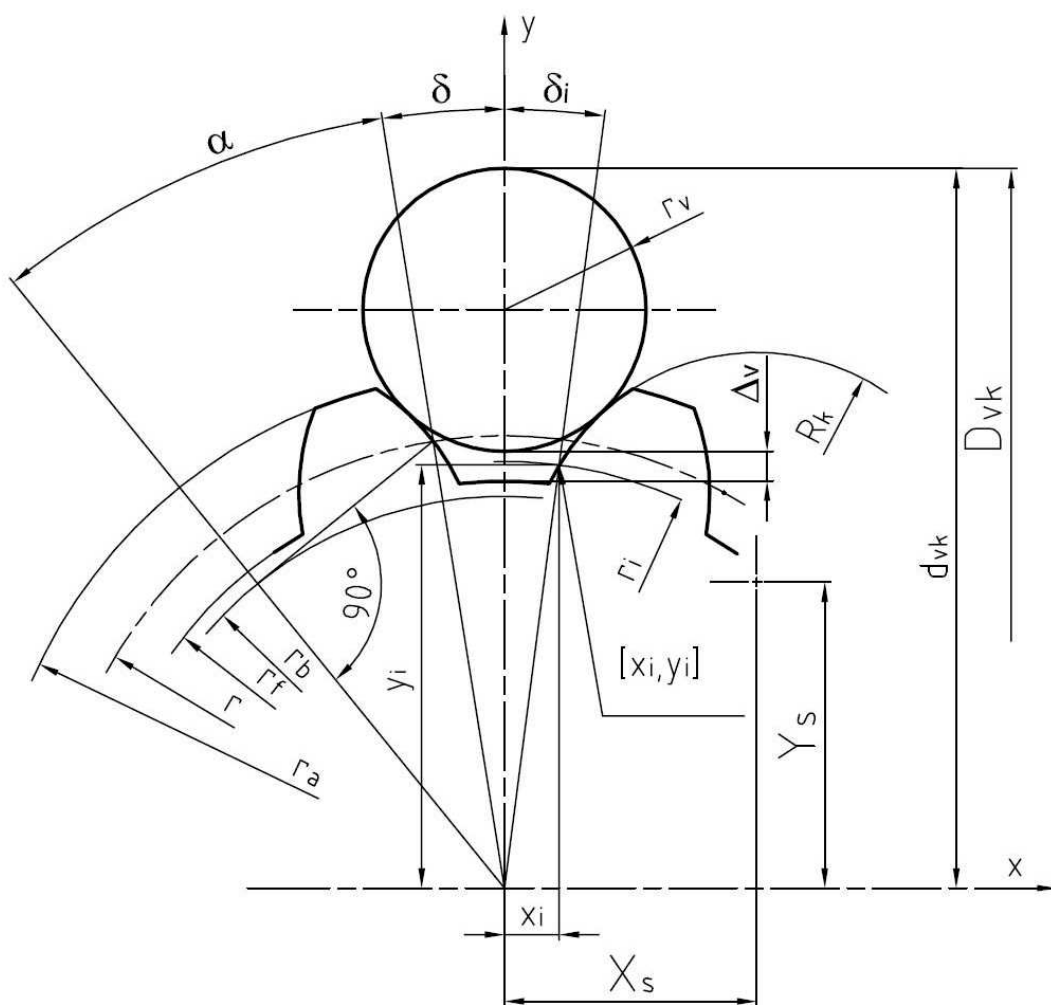
Obr. 2.9 Schéma tažné hlavy

Tažná hlava také zajišťuje snadné rozpojení, které je nutné pro vložení obrobku. Otevírání a zavírání tažné a vodicí hlavy v krajních polohách chodu stroje umožňuje nárážkový mechanismus. Vedení trnu v přední i zadní části snižuje chvění vznikající při protahování.

2.7 Náhrada evolventy kružnicí

Nahrazení evolventy pomocí kružnice z technologických a výrobních důvodů je možné provést tam, kde vzniklá rozměrová nepřesnost náhradního ozubení není na závadu. Náhradní kružnice vychází z evolventy, přičemž kružnice prochází třemi zvolenými body dané evolventy. Po nalezení náhradní kružnice je provedena zpětná kontrola, při které se porovná evolventní profil s profilem, který tvoří kružnice.

Modul, počet zubů, úhel záběru, posunutí základního profilu, tolerance rozměru přes zuby, poloměr hlavové a patní kružnice jsou určující parametry vnitřního ozubení. Z těchto parametrů vychází také výpočet náhradního ozubení. Výpočet a označení náhradní kružnice (obr. 2.10) jsou vztaženy na výrobní nástroj - protahovací trn. Postup výpočtu náhradní kružnice je rozdělen do několika na sebe navazujících kroků, které vyplývají ze vztahů uvedených v [6].



Obr. 2.10 Náhradní kružnice

Poloměr roztečné kružnice (r) určuje vztah (2.2), poloměr základní kružnice(r_b) vztah (2.3).

$$r = \frac{m \cdot z}{2} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

$$r_b = r \cdot \cos \alpha \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

Bod evolventy, který leží na roztečné kružnici, určuje úhel δ (vztah 2.4). Do vztahu se dosazuje hodnota optimální tolerance rozměru přes zuby. Tato hodnota se stanoví s ohledem na technologický postup obrábění součásti, například následné tepelné zpracování, obvykle v blízkosti horní tolerance rozměru přes zuby.

$$\delta = \frac{\pi}{2 \cdot z} - \frac{xm \cdot \operatorname{tg} \alpha}{r} - \frac{t_{opt.w}}{2 \cdot r} \text{ [rad]} \quad (2.4)$$

Podle vztahu (2.5) se stanoví velikost třech úhlů uvažovaných bodů ležících na evolventě pro tři zvolené poloměry.

První poloměr r_1 je obvykle volen tak, že protíná bod evolventy na patní kružnici protahovacího trnu, což je hlavová kružnice vnitřního obráběného ozubení, ne však na menším poloměru než je poloměr základní kružnice.

Druhý poloměr r_2 bývá obvykle roven poloměru roztečné kružnice, není to však podmínka.

Třetí poloměr r_3 je obvykle stanoven podle poloměru hlavové kružnice spoluzabírajícího ozubeného kola, nejedná se ve většině případů o hlavový poloměr protahovacího trnu. Takto zvolené poloměry vymezují tu část evolventy, která je rozhodující pro záběr ozubení v soukolí.

$$\delta_i = \delta + \alpha - \arccos \frac{r_b}{r_i} - \frac{\sqrt{r^2 - r_b^2} - \sqrt{r_i^2 - r_b^2}}{r_b} \text{ [rad]} \quad (2.5)$$

Stanovení pravoúhlých souřadnic bodů evolventy $[x_i, y_i]$ pro tři zvolené poloměry r_i určují vztahy (2.6) a (2.7). Pro bod 1 se použije nejmenší zvolený poloměr (a příslušný úhel δ_1), pro bod 3 největší poloměr (a příslušný úhel δ_3). Body určené trojicí souřadnic leží současně na evolventě i náhradní kružnici.

$$x_i = r_i \cdot \sin \delta_i \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

$$y_i = r_i \cdot \cos \delta_i \quad [mm] \quad (2.7)$$

Souřadnice středu náhradní kružnice vyplývají ze vztahů (2.8) a (2.9), poloměr náhradní kružnice ze vztahu (2.10). Pro toleranci poloměru je určující modul a stupeň přesnosti ozubení. Obvykle užívaná tolerance je $\pm 0,005$ mm.

$$X_s = \frac{\left[(r_2^2 - r_1^2) \cdot (y_3 - y_1) - (r_3^2 - r_1^2) \cdot (y_2 - y_1) \right]}{2 \cdot \left[(y_3 - y_1) \cdot (x_2 - x_1) - (y_2 - y_1) \cdot (x_3 - x_1) \right]} \quad [mm] \quad (2.8)$$

$$Y_s = \frac{\left[(r_3^2 - r_1^2) \cdot (x_2 - x_1) - (r_2^2 - r_1^2) \cdot (x_3 - x_1) \right]}{2 \cdot \left[(y_3 - y_1) \cdot (x_2 - x_1) - (y_2 - y_1) \cdot (x_3 - x_1) \right]} \quad [mm] \quad (2.9)$$

$$R_k = \sqrt{(y_2 - Y_s)^2 + (x_2 - X_s)^2} \quad [mm] \quad (2.10)$$

Výpočet minimálního a maximálního poloměru kontrolního válečku určují vztahy (2.11) a (2.12).

$$r_{v \min} = \frac{x_1}{\cos \left(\arctg \frac{y_1 - Y_s}{X_s - x_1} \right)} \quad [mm] \quad (2.11)$$

$$r_{v \max} = \frac{x_3}{\cos \left(\arctg \frac{y_3 - Y_s}{X_s - x_3} \right)} \quad [mm] \quad (2.12)$$

Výpočet vzdálenosti mezi kontrolním válečkem a patní kružnicí protahovacího trnu určuje vztah (2.13), pokud vyjde tato vzdálenost jako záporná hodnota, pro měření se použije oplošený kontrolní váleček. Oplošení válečku bude minimálně o zápornou hodnotu Δ_v , ale nesmí narušit jeho stykové přímky.

$$\Delta_v = d_{vk} - 2 \cdot r_v - r_f \quad [mm] \quad (2.13)$$

Výpočet rozměru mezi středem ozubení a povrchem kontrolního válečku pro náhradní kružnici (kontrolní rozměr) se provádí podle vztahu (2.14). Používají se minimálně dva kontrolní válečky.

$$d_{vk} = Y_s + r_v + \sqrt{(R_k + r_v)^2 - X_s^2} \quad [mm] \quad (2.14)$$

Poloměr oskulační kružnice evolventy je definován rovnicí (2.15) pro dotkový bod evolventy a zvoleného kontrolního válečku.

$$R_{OE} = r_b \cdot \left[\arctg\left(\frac{r_v + R_{OE}}{r_b}\right) + \frac{\sqrt{r^2 - r_b^2}}{r_b} - \alpha - \delta \right] \quad [mm] \quad (2.15)$$

Rozměr mezi středem ozubení a povrchem kontrolního válečku pro evolventu upravuje vztah (2.16).

$$d_{ve} = r_v + \sqrt{(r_v + R_{OE})^2 + R_b^2} \quad [mm] \quad (2.16)$$

Rozměr přes kontrolní válečky pro sudý počet zubů pro náhradní kružnici je dán vztahem (2.17), a pro evolventu vztahem (2.18).

$$D_{vk} = 2 \cdot d_{vk} \quad [mm] \quad (2.17)$$

$$D_{ve} = 2 \cdot d_{ve} \quad [mm] \quad (2.18)$$

Rozměr přes kontrolní válečky pro lichý počet zubů pro náhradní kružnici je dán vztahem (2.19), a pro evolventu vztahem (2.20).

$$D_{vk} = 2 \cdot \cos \frac{90}{z} \cdot \left(d_{vk} - \frac{r_v}{2} \right) + r_v \quad [mm] \quad (2.19)$$

$$D_{ve} = 2 \cdot \cos \frac{90}{z} \cdot \left(d_{ve} - \frac{r_v}{2} \right) + r_v \quad [mm] \quad (2.20)$$

Rozměr přes válečky se využívá při výrobě jako kontrolní míra. Měřením pomocí různých průměru válečků se vyhodnocuje přesnost profilu zubů. Tento rozměr slouží ke stanovení odchylky mezi evolventou a náhradní kružnicí.

2.8 Návrh náhradního ozubení spojovací objímky

Výrobní omezení spojené se zhotovením evolventního profilu zubů u protahovacích trnů vede k nahrazení evolventy kružnicí. Rozdíly vzniklé mezi náhradním a evolventním ozubením rozhodují o možnosti provedení této náhrady. Výkresová dokumentace spojovací objímky uvádí možnost náhrady evolventy. V tabulce 2.4 jsou shrnuty určující rozměry ozubení.

Tab. 2.4 Rozměry ozubení

m	3
α	20°
z	66
xm	0,9
$t_{opt.w}$	0,35
r_1	96,4
r_3	102

V tab. 2.5 a 2.6 jsou uvedeny výrobní rozměry náhradního ozubení protahovacího trnu (výpočet je proveden užitím vztahů (2.2) – (2.20)).

Tab. 2.5 Rozměry náhradního ozubení

Xs	33,462
Ys	86,933
R_k	33,827
r_{vmin}	1,026
r_{vmax}	3,517

Tab. 2.5 Kontrolní rozměry náhradního ozubení

r_v	D_{vk}	D_{ve}	Δ_v	$D_{vk} - D_{ve}$
1,25	197,410	197,434	-0,195	-0,024
1,5	199,521	199,544	0,360	-0,023
1,75	201,536	201,548	0,868	-0,012
2	203,470	203,470	1,335	0,000
2,25	205,338	205,326	1,769	0,012
2,5	207,148	207,130	2,174	0,018
2,75	208,909	208,888	2,555	0,021
3	210,626	210,607	2,913	0,019
3,25	212,305	212,293	3,253	0,012
3	213,949	213,949	3,575	0,000

Odchyłky přes kontrolní válečky mezi náhradním a evolventním profilem vykazují rozdíly do $\pm 6\%$ celkové tolerance ozubení. Z povahy záběru všech zubů spojovací objímky je tato hodnota přijatelná. Technologické rozdělení řezné části na tři samostatné úseky umožňuje vytvořit náhradní ozubení ze tří náhradních kružnic, které na sebe navazují. Výrobní rozměry jsou uvedeny v tab. 2.6 a tab. 2.7.

Tab. 2.6 Výrobní rozměry pro tři kružnice složeného náhradního ozubení

část č. 1		část č. 2		část č. 3	
X_s	29,288	X_s	36,019	X_s	39,838
Y_s	88,330	Y_s	85,794	Y_s	84,070
R_k	29,429	R_k	36,623	R_k	40,812
r_1	96,400	r_1	98,820	r_1	101,180
r_3	98,820	r_3	101,180	r_3	102,000
r_{vmin}	1,024	r_{vmin}	1,910	r_{vmin}	3,047
r_{vmax}	1,910	r_{vmax}	3,048	r_{vmax}	3,506

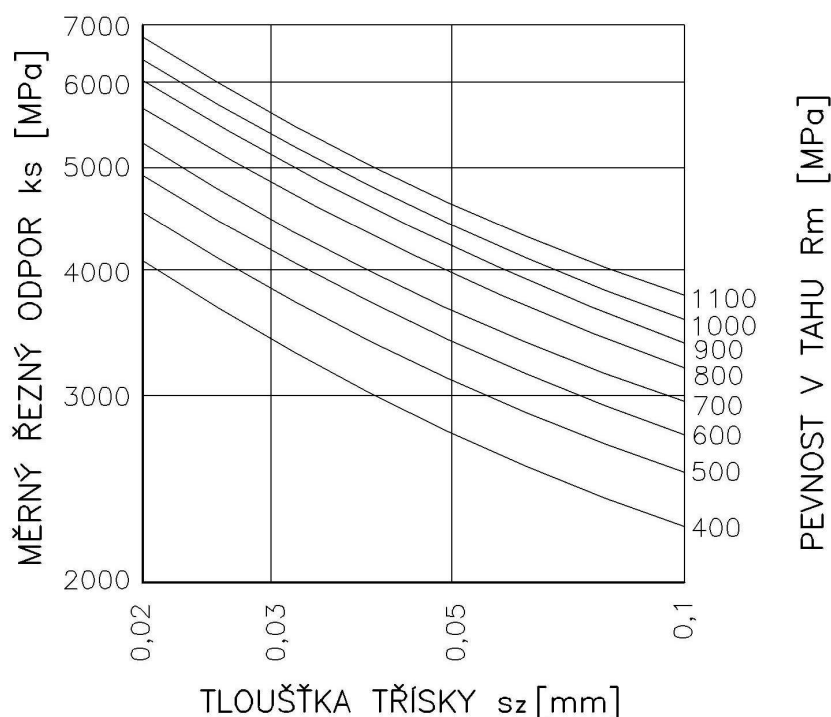
Tab. 2.7 Kontrolní rozměry pro tři kružnice složeného náhradního ozubení

část č. 1				část č. 2				část č. 3			
r_v	D_{vk}	D_{ve}	$D_{vk}-D_{ve}$	r_v	D_{vk}	D_{ve}	$D_{vk}-D_{ve}$	r_v	D_{vk}	D_{ve}	$D_{vk}-D_{ve}$
1,25	197,431	197,434	-0,003	2,00	203,469	203,470	-0,001	3,10	211,285	211,285	0,000
1,50	199,546	199,544	0,002	2,50	207,130	207,130	0,000	3,25	212,293	212,293	0,000
1,75	201,550	201,548	0,002	3,00	210,608	210,607	0,001	3,50	213,949	213,949	0,000

Složené náhradní ozubení v kontrolních místech vykazuje jen zanedbatelné odchyłky od evolventního profilu a provedená náhrada je vyhovující. Porovnání s obvyklou náhradou jen jednou kružnicí se přesnost zvýšila osmkrát.

2.9 Tažná síla

Protahovací nástroj charakterizují jeho rozměry doplněné o hodnotu síly, která je zapotřebí k protažení obrobku s maximální možnou délkou s ohledem na specifikaci protahovaného materiálu. Velikost řezné síly a tažná délka trnu určují základní parametry pro volbu protahovacího stroje. Stanovení orientační řezné síly (F_z) z průřezu třísky a součinitele měrného odporu (obr.2.11) [2] se provádí podle vztahu (2.21) [2].



Obr. 2.11 Součinitel měrného odporu

$$F_z = S \cdot k_s \quad [N] \quad (2.21)$$

Celková plocha třísky (S) představuje součet dílčích průřezů třísky současně zabírajících řezných mezer. Součinitel měrného odporu (k_s) zohledňuje jako hlavní parametr tloušťku odřezávané třísky a ostatní ovlivňující podmínky odpovídají běžnému obrábění. Vztah (2.21) určuje řezný odpor dostatečně přesně za podmínky, že úhel čela nástroje nevybočuje z doporučených hodnot. Přesnější stanovení řezné síly (F_z), určené vztahem (2.22) [5] zohledňuje tloušťku třísky (s_z), celkovou šířku třísky (b), materiálové konstanty uvedené v tabulce 2.8 [5], počet děličů třísek (k_d) a geometrii břitů (α_0, γ_0).

$$F_z = 11,5 \cdot b \cdot \left(c_1 \cdot s_z^{0,85} + c_2 \cdot k_d - c_3 \cdot \gamma_0 - c_4 \cdot \alpha_0 \right) \quad [N] \quad (2.22)$$

Tab. 2.8 Materiálové konstanty

Materiál	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
12024, 12022	115	0,06	0,2	0,12
12040	160	0,08	0,24	0,13
12050, 12051	220	0,103	0,32	0,14
14140	230	0,117	0,34	0,14
14220, 16230, 16420, 16520	265	0,137	0,4	0,15
litina – HB 160 – 180	140	0	0,25	0,13
litina – HB 180 – 220	170	0	0,30	0,14

Šířka řezu (b) představuje součet všech šířek spoluzabírajících břitů bez ohledu na děliče třísky. Ovlivnění řezné síly velikostí úhlu hřbetu v běžném rozsahu 0,5 – 4° je poměrně malé. Zásadnější vliv má úhel čela nástroje, kde změna jednoho stupně vyvolá změnu řezné síly v rozmezí 1 – 2%. Šířka záběru u evolventních protahovacích trnů se postupně zmenšuje v závislosti na profilu zubů. Výpočet šířky záběru pro jeden zub (b_{zi}) určuje vztah (2.23).

$$b_{zi} = \frac{2 \cdot r_i \cdot (\pi - \delta_i \cdot z)}{z} \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

Vypočtené hodnoty řezné síly (F_z) jsou platné pro ostrý nástroj a tabulkové hodnoty měrného řezného odporu. Provozní tažná síla po otupení nástroje je o 20 – 40% vyšší. Toto navýšení je nutné zohlednit při volbě vhodného protahovacího stroje.

2.10 Kontrola pevnosti a řezný materiál

Součástí každého konstrukčního řešení protahovacího trnu je stanovení maximální tažné síly, která je výchozí hodnotou pro pevnostní kontrolu nástroje. Protahovací trny jsou namáhány tahem, přičemž v kritických místech s nejmenším příčným průřezem je nebezpečí přetržení největší. V těchto místech musí být splněna podmínka podle vztahu (2.24).

$$\sigma_{DOV} > \frac{F_z}{S} \text{ [MPa]} \quad (2.24)$$

U celistvých protahovacích trnů jsou nejmenší příčné průřezy (S) v prvních zubových mezerách a v zúžení tažné stopky. Tažná stopka je popuštěna na menší tvrdost, tím se docílí menší náchylnost k lomu a vyšší odolnost proti přetržení. V případě překročení dovoleného napětí v zubové mezeře je nutná úprava její hloubky a tím prodloužení rozteče mezer.

Zmenšení odřezávané třísky sníží řeznou sílu, ale obě tyto úpravy prodlouží délku nástroje. Z bezpečnostních důvodů mají některé protahovací trny v tažné stopce vybroušený zúžený krček, jehož průřez je menší než průřezy v řezné části. Případné přetržení trnu v krčku poskytuje určitý prostor pro následnou opravu. Umístění krčku v dostatečné vzdálenosti od řezné části tuto opravu zjednodušuje.

Hodnota dovoleného napětí závisí na zvoleném řezném materiálu nástroje a stupni jeho tepelného zpracování. Nejčastěji používané řezné materiály k výrobě protahovacích trnů jsou nástrojové oceli 19436, 19830 a 19852. Slitinová nástrojová ocel 19436 nachází využití při obrábění ocelí do pevnosti 700 MPa. Rychlořezná ocel 19830 má zvýšenou houževnatost a je vhodná pro obrábění ocelí do pevnosti 900 MPa. Pro obrábění materiálu do pevnosti 1200 MPa vyhovuje rychlořezná ocel 19852. Tato ocel vykazuje velkou řezivost a trvanlivost ostří při zvýšené houževnatosti. Dovolené namáhání v tahu u oceli 19436 je 250 až 300 MPa [2], rychlořezné oceli odolávají vyššímu napětí v rozmezí 350 až 400 MPa [2]. Pevnostní kontrola nástrojů složených se zaměřuje na pevnost spojů, které jsou nejvíce náchylné na porušení. Odolnost spojů určuje geometrickou přesnost nástroje. Narušení spoje nemusí znamenat úplné přetržení, ale změny geometrie naruší správnou funkci protahovacího trnu.

2.11 Provozní zatížení navrhovaného složeného trnu

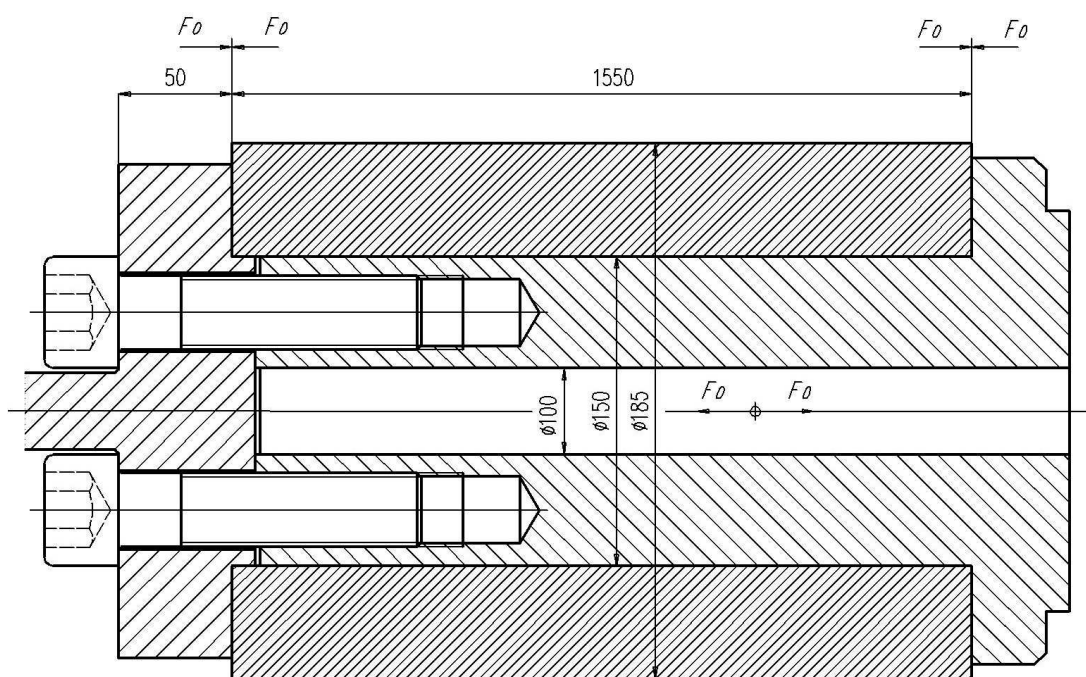
Provedení pevnostní kontroly u navrhovaného protahovacího trnu zahrnuje výpočet provozní tažné síly a napětí v kritických průřezech trnu. Podrobnější rozpracování koncepce nástroje je podmínkou pro zjištění velikosti působících sil na jednotlivé části. Výpočet řezné síly (F_z) potřebné k protažení objímky je proveden na základě návrhu řezné části trnu a s použitím vztahů (2.22) a (2.23). Pro zjištění maximální řezné síly pro obě protahované délky obrobku (F_{z1} , F_{z2}) jsou provedeny výpočty se zohledněním počtu spoluzabírajících zubů a materiálových konstant (tab.2.8).

$$F_{z1} = 11,5 \cdot 1495 \cdot (265 \cdot 0,05^{0,85} + 0,137 - 0,4 \cdot 12 - 0,15 \cdot 3) = 269130 \text{ N}$$

$$F_{z2} = 11,5 \cdot 1782 \cdot (265 \cdot 0,055^{0,85} + 0,137 - 0,4 \cdot 18 - 0,15 \cdot 3) = 307520 \text{ N}$$

Otupením nástroje řezný odpor stoupne a předpokládané navýšení řezné síly až o 30% určuje maximální tažnou sílu na počátku trnu na 350 kN. Se změnou protahované délky se zvýší také hodnota tažné síly až na 400 kN.

Trubková koncepce protahovacího trnu s průchozím nosným tělesem změni směr zatížení řezné části. Klasický protahovací trn je namáhán na tah, u navrhovaného provedení je řezná část ve tvaru trubky namáhána tlakem. Z vnějšího pohledu na funkci celého nástroje se nic nemění, ale z pohledu řezné části se jedná o protlačování. Ve srovnání s klasickým trnem je řezná část předepjata montážním zatížením (F_0). Schématicky je tato situace znázorněna na obr. 2.12.



Obr. 2.12 Předepjetí řezné části

Montážní předepjetí vyvozené spojovacími šrouby zkrátí řeznou část o pružnou deformaci Δl_r a nosné těleso prodlouží o Δl_t . Předpětí vyvozené v trnu musí mít větší hodnotu než maximální provozní tažná síla. Navrhované předpětí 600 kN, odvozené z tažné síly, je výchozí hodnota pro pevnostní výpočet. Pro toto montážní předpětí předběžně vyhovuje 12 spojovacích šroubů M 16, jejichž prodloužení je Δl_s . Pro výpočet prodloužení je použitý Hookův zákon, kde modul pružnosti v tahu E pro rychlořeznou ocel je 220 000 MPa [4] a pro konstrukční ocel 210 000 MPa.

$$\Delta l_r = \frac{F_0 \cdot l}{E \cdot S} = \frac{600000 \cdot 1550}{2,2 \cdot 10^5 \cdot 9208} = 0,46 \text{ mm}$$

$$\Delta l_t = \frac{F_0 \cdot l}{E \cdot S} = \frac{600000 \cdot 1550}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 9817} = 0,45 \text{ mm}$$

$$\Delta l_s = \frac{F_0 \cdot l}{E \cdot S} = \frac{600000 \cdot 50}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 2412} = 0,06 \text{ mm}$$

O rozdělení provozní tažné síly do tělesa a řezné části rozhoduje jejich tuhost. Nosné těleso společně se spojovacími šrouby představují jednu část, řezná trubka druhou. Výchozí jsou vztahy pro výpočet tuhosti (2.25) [7] a pro součet tuhosti odstupňovaných průřezů (2.26) [7]. Dosazením hodnot pro navrhovaný trn dostaneme hodnoty tuhosti řezné trubky c_r a jádra se spojovacími šrouby c_{t+s} .

$$c = \frac{F_0}{\Delta l} [N \cdot mm^{-1}] \quad (2.25)$$

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} [mm \cdot N^{-1}] \quad (2.26)$$

$$c_r = \frac{F_0}{\Delta l_{\tilde{r}}} = \frac{600000}{0,46} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot mm^{-1}$$

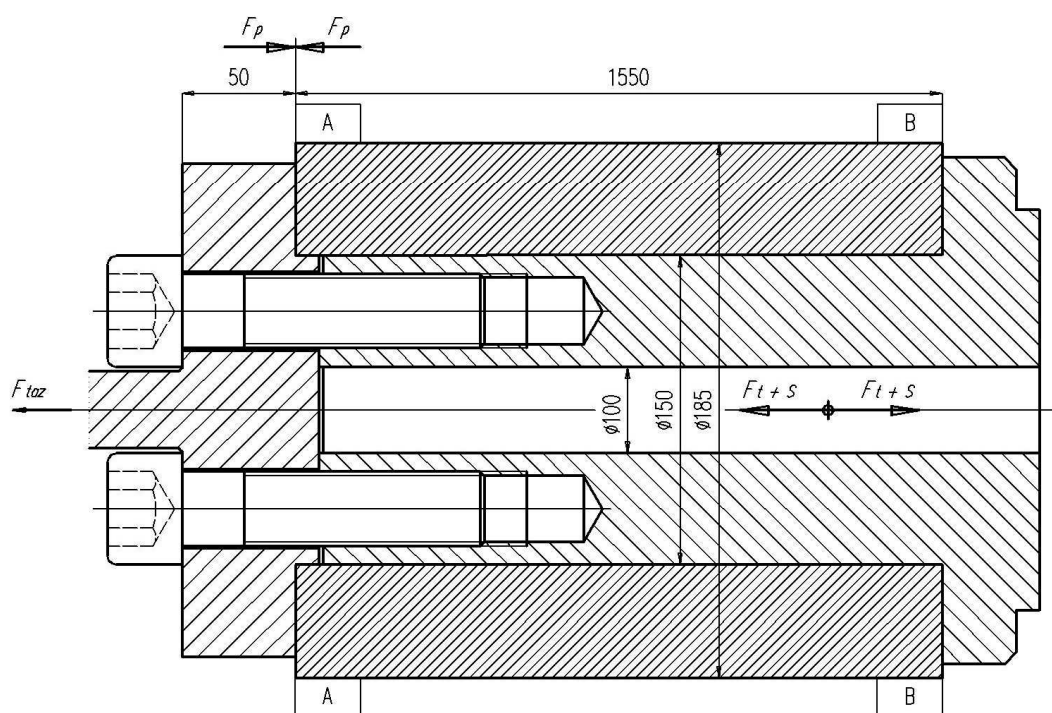
$$c_t = \frac{F_0}{\Delta l_t} = \frac{600000}{0,45} = 1,33 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot mm^{-1}$$

$$c_s = \frac{F_0}{\Delta l_s} = \frac{600000}{0,06} = 10 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot mm^{-1}$$

$$\frac{1}{c_{t+s}} = \frac{1}{c_t} + \frac{1}{c_s} = \frac{1}{1,33 \cdot 10^6} + \frac{1}{10 \cdot 10^6} = 8,52 \cdot 10^{-7} \text{ mm} \cdot N^{-1}$$

$$c_{t+s} = \frac{1}{8,52 \cdot 10^{-7}} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot mm^{-1}$$

Na schématickém znázornění protahovacího trnu obr. 2.13, který je zatížen vnější tažnou silou (F_{taz}) jsou vyznačeny body A, B, ve kterých je proveden výpočet rozložení vnitřních sil. Vnější síla F_{taz} je maximální tažná síla a kontrolní výpočet je proveden bez ohledu na skutečnou tažnou sílu, která je vždy menší, nebo rovna F_{taz} .



Obr. 2.13 Trn zatížený provozní silou

Podmínka pro zachování soudržnosti protahovacího trnu jako celku spočívá ve velikosti zůstatkového předpětí F_p v průběhu protahování. Zůstatkové předpětí není konstantní ani v případě uvažované konstantní tažné síly. Rozdíly jsou způsobeny pružnou deformací řezné části, nosného tělesa a spojovacích šroubů. V první fázi protahování se nachází objímka v místě A, úbytek předpětí ve spoji je maximální a je roven velikosti tažné síly. Předpětí v nosném tělese a spojovacích šroubech F_{t+s} zůstává nezměněno.

$$F_p = F_0 - F_{\text{taz}} \quad [N]$$

$$F_p = 600000 - 400000 = 200000 \quad N$$

$$F_{t+s} = F_{taz} + F_p = F_{taz} + F_0 - F_{taz} = F_0 \text{ [N]}$$

Pokles předpětí ve spoji na hodnotu 200 kN neovlivní soudržnost protahovacího trnu a počátek protahování je z hlediska pevnosti nástroje vyhovující. V konečné fázi protahování (objímka v místě B) je projev pružných deformací odlišný. Dochází k poklesu předpětí ve spoji a řezné části, nosné těleso a spojovací šrouby jsou zatěžovány větší silou. Pro změny síly v řezné trubce (ΔF_r) a v jádře se spojovacími šrouby (ΔF_{t+s}) platí vztahy (2.27) a (2.28) [7].

$$\Delta F_r = F_{taz} \cdot \frac{c_r}{c_{t+s} + c_r} \text{ [N]} \quad (2.27)$$

$$\Delta F_{t+s} = F_{taz} \cdot \frac{c_{t+s}}{c_{t+s} + c_r} \text{ [N]} \quad (2.28)$$

$$\Delta F_r = 400000 \cdot \frac{1,3 \cdot 10^6}{1,17 \cdot 10^6 + 1,3 \cdot 10^6} = 210500 \text{ N}$$

$$\Delta F_{r+s} = 400000 \cdot \frac{1,17 \cdot 10^6}{1,17 \cdot 10^6 + 1,3 \cdot 10^6} = 189500 \text{ N}$$

Výpočet sil (F_r , F_{r+s}), které působí v řezné části a nosném tělese upravují vztahy (2.29), (2.30) [7]. Z těchto sil se stanoví zůstatkové předpětí ve spoji (F_p).

$$F_r = F_0 - \Delta F_r \text{ [N]} \quad (2.29)$$

$$F_{t+s} = F_0 + \Delta F_{t+s} \text{ [N]} \quad (2.30)$$

$$F_r = 600000 - 210500 = 389500 \text{ N}$$

$$F_{t+s} = 600000 + 198500 = 789500 \text{ N}$$

$$F_p = F_{t+s} - F_{taz} = F_r = 389500 \text{ N}$$

Síla působící na nosnou část a spojovací šrouby dosahuje v zadní části trnu svého maxima. Předpětí ve spoji je větší než v přední části, což je z pohledu soudržnosti vyhovující. Maximální tahová síla ovlivňuje nejvíce spojovací šrouby, které mají podstatně menší celkový průřez než je průřez nosného tělesa. Stanovení redukovaného napětí (σ_{red}) ve šroubech užitím vztahů (2.31), (2.32), (2.33), (2.34) a (2.35) [7] umožní pevnostní kontrolu šroubů.

$$\sigma = \frac{F_{max}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \text{ [MPa]} \quad (2.31)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) [^\circ] \quad (2.32)$$

$$\varphi' = \arctg\left[\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right] [^\circ] \quad (2.33)$$

$$\tau = \frac{M_z}{W_K} = \frac{\frac{F_0}{2} \cdot d_2 \cdot \tg(\psi + \varphi')}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \text{ [MPa]} \quad (2.34)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \text{ [MPa]} \quad (2.35)$$

$$\sigma = \frac{789500}{\frac{\pi \cdot 13,55_3^2}{4}} = 456 \text{ MPa}$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{2}{\pi \cdot 14,7_2}\right) = 2,48^\circ$$

$$\varphi' = \arctg\left[\frac{0,15}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)}\right] = 9,83^\circ$$

$$\tau = \frac{\frac{50000}{2} \cdot 14,7 \cdot \tg(2,48 + 9,83)}{\frac{\pi \cdot 13,55^3}{16}} = 164 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{456^2 + 3 \cdot 164^2} = 537 \text{ MPa}$$

Vyjádření součinitele bezpečnosti podle vztahu (2.36) [7], kde mez kluzu v tahu R_e pro spojovací šroub M16 12,9 je 1080 MPa [7].

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} [-] \tag{2.36}$$

$$k_s = \frac{1080}{537} = 2$$

Spojovací šrouby jsou při protahování namáhány míjivým zatížením, které klade na spoj vyšší nároky. Hodnota bezpečnostního koeficientu 2 je při tomto zatěžování přiměřená. Dotažení spojovacích šroubů pro stanovené montážní předpětí momentem (M_u) upravuje vztah (2.37), výpočet je proveden pro jeden šroub, F_o je tedy jedna dvanáctina celkového předepětí.

$$M_u = \frac{F_0}{2} \cdot [d_2 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') + f_s \cdot d_s] \quad [N \cdot m] \quad (2.37)$$

$$M_u = \frac{50000}{2} \cdot [0,0147 \cdot \operatorname{tg}(2,48 + 9,83) + 0,18 \cdot 0,02] = 170 \quad N \cdot m$$

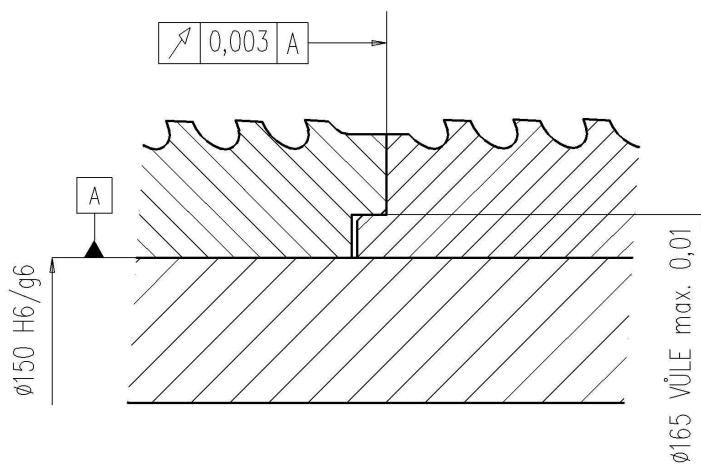
Kontrola řezné části na vzpěr je provedena podle Eulerova vzorce, který má po dosazení kvadratického momentu mezikruhovité plochy tvar (2.37). Výpočet Eulerovy kritické síly (N_{kr}) je proveden pro samotnou řeznou část, kde se nebere ohled na zpevňující účinky tahově namáhaného tělesa.

$$N_{kr} = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot (D^4 - d^4)}{256 \cdot L^2} \quad [N] \quad (2.37)$$

$$N_{kr} = \frac{\pi^3 \cdot 2,2 \cdot 10^5 (185^4 - 150^4)}{256 \cdot 1550^2} = 7,4 \quad MN$$

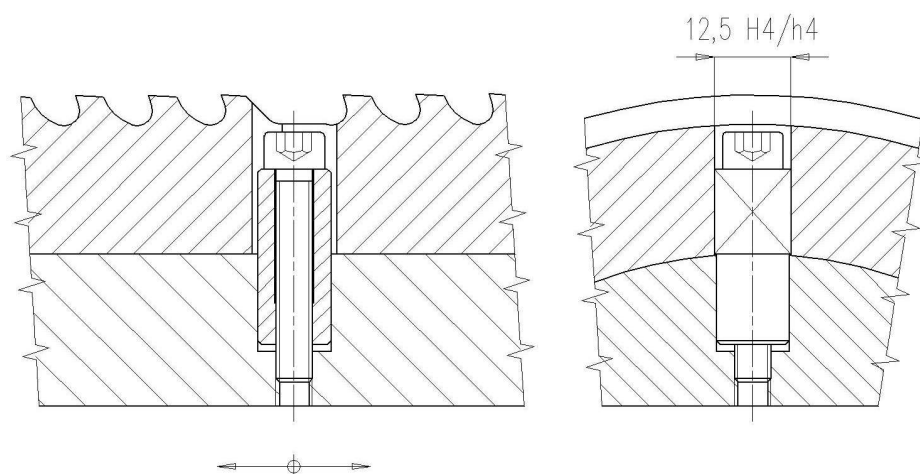
Síla působící při protahování na řeznou část v oblasti za spojovací objímkou se postupně zvětšuje až do maxima 789,5 kN přičemž se zkracuje délka namáhané části. Rozhodující je zatížení, které působí na celou délku, v tomto případě je to 600 kN. Provozní zatížení dosahuje přibližně 8% Eulerovy kritické síly. Řezná část na vzpěr vyhovuje.

Zajištění jednotlivých řezných částí proti radiálnímu přesazení zabezpečuje kruhový zámek (obr. 2.14). Obdobné zámky také zajišťují spojení s nosným tělesem a zaváděcím pouzdrem.



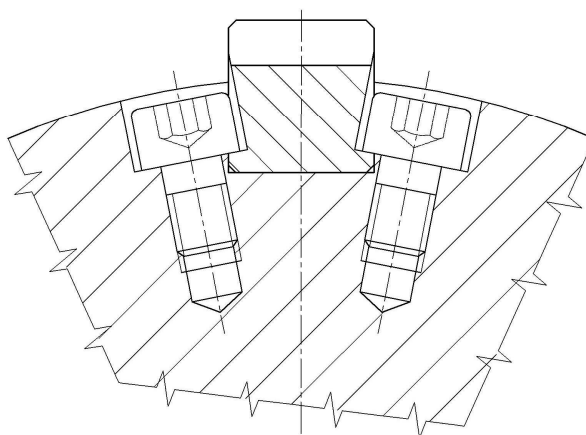
Obr. 2.14 Kruhový zámek

Vzájemné rotaci zabráňuje polohovací kámen (obr 2.15), který je nalisován v nosném tělese a vsuvně uložen vždy v jedné řezné části. Proti nežádoucímu uvolnění je zajištěn šroubem.



Obr. 2.15 Polohovací kámen

Ploché nože jsou uloženy v kalibrických drážkách v zadní části nosného tělesa trnu. Uchycení nožů (obr. 2.16) čtyřmi šrouby a opření o čelo drážky zaručuje stabilitu a tuhost upnutí. Kontrola pevnosti samotných nožů vychází z použití typizovaného profilu zubů a řezného materiálu 19 852.



Obr. 2.16 Uchycení nože

2.12 Výkresová dokumentace navrhovaného protahovacího trnu

Celkový návrh protahovacího trnu je shrnut ve výkresové dokumentaci - Přílohy A až L.

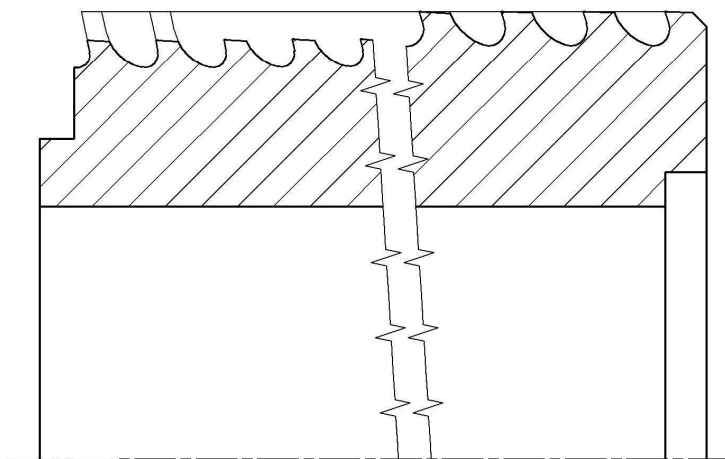
3 TECHNOLOGIE VÝROBY PROTAHOVACÍHO TRNU

Výroba protahovacích trnů patří mezi specializované odvětví výroby nástrojů. Nároky na kvalitu provedení a výrobní přesnost vyžadují vhodné obráběcí stroje s kvalifikovanou obsluhou. Propojenost konstrukce a výroby u nástrojů tvarově složitých nebo rozměrově velkých je nezbytná. Propracované technologické postupy zohledňující možnosti výrobních provozů tvoří základ úspěšné realizace nástroje.

3.1 Třískové opracování

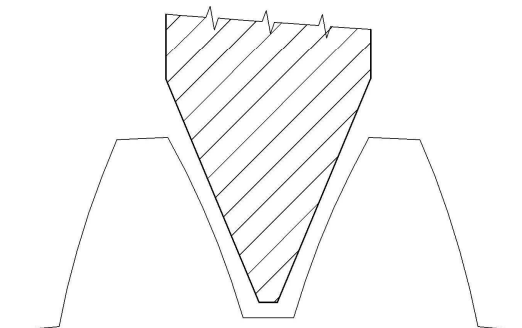
Navrhovaný protahovací trn trubkového provedení lze z pohledu technologie výroby rozdělit na dvě skupiny podle obtížnosti zhotovení. První skupina zahrnuje části obvyklé a jejich technologické postupy výroby jsou obecně známy. Druhou skupinu představuje řezná část protahovacího trnu, kde se vyskytují vedle obvyklých také specifické výrobní operace. Některé odlišné, ale i standardní operace budou následně zmíněny.

Soustružení je rozděleno na hrubování s přídavkem 3 mm na plochu a dokončení po průběžném tepelném zpracování. Ponechaný přídavek na broušení je 0,4 mm na plochu. První dva řezné zuby (obr. 3.1) jsou vysoustruženy na stejný průměr jako zub poslední. Tento průměrový přídavek umožňuje snadné měření při výrobě profilu zubu. Zubové mezery jsou zhotoveny tvarovým soustružnickým nožem a kontrolovány šablonou. Z hlediska zjednodušení výroby je výhodné používat typizované rozměry zubové mezery.



Obr. 3.1 Technologický přídavek

Frézování profilu zubů (obr. 3.2) s přídávkem 0,5 mm na plochu je provedeno dělicím způsobem. Úhlová kotoučová fréza nekopíruje přesně tvar zubů, v patě a na hlavě ozubení je přídavek na broušení větší. Úhlové dělení zajišťuje přímé dělení pomocí kotouče s otvory.



Obr. 3.2 Frézování zubů

3.2 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování protahovacích trnů patří mezi operace, které významně ovlivňují výsledné vlastnosti nástroje. Požadavek přijatelné, avšak nežádoucí tvarové deformace vzniklé po tepelném zpracování, podmiňuje provádění všech těchto operací ve svislé poloze. Vyžadovaná svislá poloha omezuje maximální délku nástroje.

Vyhrubovaný protahovací trn nebo v případě děleného nástroje jeho řezné části jsou žíhány na odstranění pnutí. Tato operace je provedena z důvodů snížení deformací při následném opracování a kalení. Tvarové deformace vzniklé při tomto tepelném zpracování jsou odstraněny obráběním, mechanické rovnání se neprovádí. Teplota ohřevu a doba prodlevy je volena dle materiálového listu použité oceli a rozměru trnu.

Kalení protahovacích trnů patří mezi náročné výrobní operace. Výsledné vlastnosti získané kalením významným způsobem ovlivňují kvalitu celého nástroje. Dříve nejrozšířenější metoda kalení v solných lázních je nahrazována kalením ve vakuu. Nevýhodou kalení v solných lázních je možnost oduhličení a následný vznik trhlin. Vakuové kalení poskytuje přesnější teplotní rozsahy a menší deformace, nástroj se nepřemísťuje mezi austenitizační a termální ochlazovací lázní, jak je tomu u staršího typu kalení. Teplota kalení je volena s ohledem na požadavek jemného zrna a přijatelné houževnatosti při spodní hranici teplotního rozsahu pro daný materiál. Kalení oceli 19436 je technologicky jednodušší než ocelí rychlořezných, které mají kalící teplotu podstatně vyšší.

Rovnění za tepla následuje bezprostředně po ochlazení z kalící teploty na 500°C a musí být dokončeno dříve než dojde k martenzitické přeměně. Malý časový interval pro rovnání vyžaduje značné zkušenosti obsluhy rovnacího lisu. Rovnění za tepla lze běžně provádět u trnů kalených do termální solné lázně, která má teplotu vhodnou pro počátek rovnání. Proces vakuového kalení ve většině případů neumožňuje vytažení trnu před jeho ochlazením na teplotu okolí a tím je rovnání průhybem pod lisem zcela vyloučeno.

Trojnásobné popouštění rychlořezných ocelí následuje bezprostředně po ochlazení na teplotu okolí. Účelem popouštění je sekundární vytvrzení a rozpad zbytkového austenitu. Teploty a výdrž jsou voleny s ohledem na výslednou tvrdost a mechanické vlastnosti. Minimální tvrdost měřená v řezné části je u rychlořezných ocelí obvykle stanovena na 64 HRC a pro slitinovou ocel na 62 HRC. Slitinová ocel 19436 se popouští jen jednou.

Rovnění za studena, provedené temováním do zubových mezer, slouží k odstranění možné deformace vzniklé po tepelném zpracování. Nevýhodou tohoto rovnání je, že odbroušením temovaných míst se deformace částečně vrací.

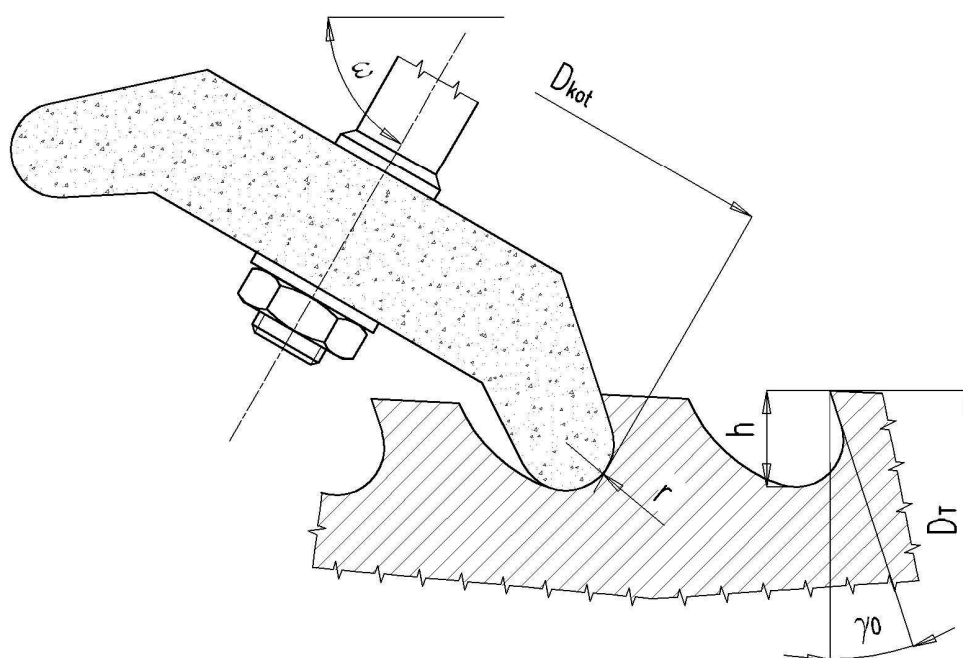
3.3 Broušení

Přímá vazba mezi tvarem protahovacího trnu a obráběného dílce určuje význam kladený na dokončovací operace. Broušení je poslední strojní operací výroby řezných částí trnu. Náročnost brusičských operací prohlubují velmi úzké výrobní tolerance v kombinaci se zhoršenou ohrusitelností řezných materiálů. Vysoká kvalifikace brusičů je nezbytná podmínka úspěšné realizace protahovacích trnů.

Po provedení tepelného zpracování jsou řezné části tvarově deformovány, broušením nerovnoměrně rozložených přídavek se nedocílí požadované tvarové přesnosti jednostupňovým broušením. Broušení je z tohoto důvodu rozděleno na hrubování s přídávkem 0,1 mm na plochu a dokončovací broušení. Tvarová deformace po prvním broušení dosahuje jen zlomku původních deformací, které jsou však nevyhovující, druhým opakovaným broušením je dosaženo vyhovujících odchylek. Broušení otvoru, který slouží také k následnému upínání na pomocný brousící trn, je standardní operace. Zvláštní pozornost je nutné věnovat broušení čelních dosedacích ploch a kruhovému zámku, které se provádí společně s broušením povrchu zubů řezné části na hrotové brusce. Relativně malé překročení tolerance axiálního házení čelní plochy by způsobilo po montáži více částí prohnutí celého nástroje. Snížení hodnoty drsnosti ploch v řezné části příznivě ovlivňuje funkci nástroje.

Čelo zubu u kruhových protahovacích trnů tvoří kuželová plocha, která plynule navazuje na rádiusový zápich. Velký úhel čela a malý průměr trnu zmenšují velikost průměru brusného

kotouče a tím znesnadňují toto broušení. Vytočením brusného kotouče (obr. 3.3) lze docílit většího průměru kotouče a lepší kvality obroušeného povrchu.



Obr. 3.3 Broušení čela

Výpočet maximálního průměru brusného kotouče (D_{kot}) upravuje vztah (3.1).

$$D_{kot} = 2 \cdot \left[\sin(\omega - \gamma_0) \cdot \left(\frac{\frac{D_T}{2} - h + r + r \cdot \sin \gamma_0}{\sin \gamma_0} \right) + r - r \cdot \sin(\omega - \gamma_0) \right] [mm] \quad (3.1)$$

Obroušením celého profilu řezné drážky se usnadní deformace a uvolňování odřezané třísky. U trnů větších průměru se nevyskytují obtíže s broušením čela a profilu drážky.

Broušení profilu zubu vyžaduje speciální brusku vybavenou dělicím přístrojem a zařízením na orovnávání brusného kotouče. Brusný kotouč má tvar mezizubové mezery, kde profil tvoří náhradní kružnice stanovená pro část evolventy připadající na převýšení zubů broušeného úseku řezné části. Navazující druhý a třetí díl řezné části má odlehčenu tu část profilu zubu, která připadla na předchozí úsek. Měřením rozměru přes kontrolní válečky ve třech výškových úrovních je vyhodnocen profil i samotný rozměr trnu.

Riziko poškození protahovacího trnu vyhřátím při broušení je větší u oceli 19436 než u ocelí rychlořezných, které mají podstatně vyšší popouštěcí teplotu. Toto poškození je

nevratné a trn vykazuje menší životnost, případně dochází k odlupování vrchní vyhřáté vrstvy zubu.

3.4 Ostření a renovace

V běžném provozu dochází k pozvolnému otupování ostří, které se projevuje na hřbetu zubu. Vizuální kontrola společně s posouzením úrovně zvýšení řezného odporu rozhodují o nutnosti přeastření nástroje. Při hromadné výrobě je doba do ostření vázána na počet protažených kusů, ale i v tomto případě se provádí průběžná kontrola otupení. Závislost otupení na celkové protažené délce je obtížné přesně stanovit i pro konkrétní případ a orientačně se tato délka pohybuje kolem sta metrů. Ostření se provádí při běžném provozním otupení jen na čele řezných zubů, kalibrovací zuby se nebrousí. Odbrušuje se jen otupená část, po přeastření je provedena kontrola na převýšení jednotlivých zubů.

Vlivem odbrušování čelní plochy, v závislosti na úhlu hřbetu, mění řezné zuby protahovacího trnu vnější rozměry. Nestejnoměrný úběr z čela způsobí změny původního převýšení zubů a tyto změny vyvolají nutnost renovace nástroje. Podstatou renovace je obnovit původní odstupňování zubů, provedené snížením všech zubů obroušením hřbetu a využitím jednoho kalibrovacího zubu. Poslední řezací zub se vytvoří z původně kalibrovacího zubu snížením a vytvořením děličů. Obdobně se postupuje i v případě velkého otupení, kdy by odbrušování jen z čela značně zúžilo využitelnou část zubu. Z různých provozních příčin může vzniknout závada v podobě vyštípnutí nebo vylomení zubu. Možnost opravy spočívá v obroušení poškozeného zubu a rozložení převýšení zaniklého zubu na několik následných zubových mezer. U větších úprav je nutné trn znovu zkontrolovat na pevnost a objem zubové mezery.

3.5 Technologický postup výroby protahovacího trnu

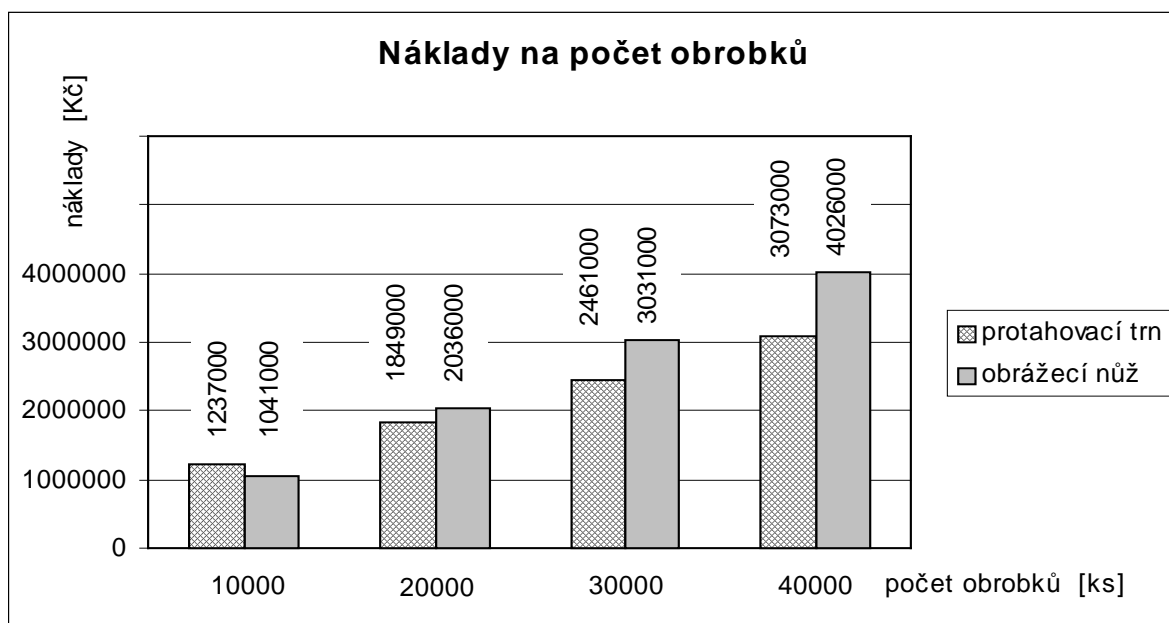
Technologický postup pro výrobu navrhovaného protahovacího trnu PT – 001 je uveden v Příloze M.

4 EKONOMIKA PROVOZU

Zavádění nové výroby nebo její rozšíření přináší mimo jiné požadavek na ekonomický provoz. Uplatněním vhodné technologie výroby lze dosáhnout optimální ekonomické návratnosti při přijatelných vstupních investicích. Ekonomický pohled na nabízené technologie napomáhá při jejich úspěšném výběru.

4.1 Srovnání variant výroby

Ekonomické hodnocení navrhovaných variant výroby spojovací objímky vychází ze životnosti nástrojů, pořizovacích cen a provozních nákladů. Řezné nástroje mají omezenou životnost závislou na délce využitelné části, která je postupně zkracována ostřením po otupení. Kotoučový obrážecí nůž po odbroušení již nelze renovovat. Životnost jednoho obrážecího nože převedená na počet zhotovených obrobků je základní vyhodnocovací jednotka. Pořizovací cena v případě trnu i obrážecího nože je jednorázově započtena a po skončení životnosti obrážecího nože je opět započtena celá cena nového nástroje. Režijní náklady bez cen nástrojů jsou stanoveny na výrobní čas. Položka na mzdy zahrnuje jen čas přímé obsluhy. Při takto zvoleném kritériu je výrobní cena konstantní, zanedbá-li se vliv velikosti obráběné série. Graf na obrázku 4.1 zachycuje závislost mezi počtem vyrobených obrobků a náklady.



Obr. 4.1 Náklady na počet obrobků

ZÁVĚR

Technologie protahování je úzce spojena s velkosériovou a hromadnou výrobou. Velké množství obráběných součástí v krátkém časovém intervalu klade na protahovací trny vysoké nároky. Rozměrová přesnost a dlouhá životnost je považována za standardní vlastnost nástroje. Ekonomický tlak na pořizovací cenu a snížení provozních nákladů spojených s využíváním trnu v průběhu celé jeho životnosti klade také požadavky na renovaci. Na rozdíl od klasických nástrojů, kde životnost končí odostřením využitelné části zubu, navrhovaný dělený protahovací trn kalkuluje s výměnou řezných částí při renovaci již od své konstrukce. Výrazně se projevuje výhoda opakované renovace u velkých objemů výrobků, kde činí úspora při každé celkové renovaci přibližně jednu třetinu ceny nového nástroje.

Ekonomické porovnání s alternativní možností výroby stanovuje dosažení hranice shodných nákladů na úrovni 15000 protažených obrobků. Tato základní analýza nepředpokládá nákup nových strojů, kde u obrážení i protahování k pokrytí výroby postačí vždy po jednom stroji. Situace, ve které z časového důvodu u obrážení nestačí jen jeden stroj, dále zvyhodňuje protahování. Potřebný výrobní čas u protahování je jen jedna osmina z času, který je nutný v případě obrážení. Stejný časový výkon při využití obrážení znamená obsadit osm strojů, které je nutné vybavit nástroji a přípravky pro upnutí. V tomto případě dochází k vyrovnání nákladů při podstatně menším počtu obrobků.

Použitím navrženého protahovacího trnu vzniká přínos i v podobě snížení zmetkovitosti. Častá výměna nástrojů a seřizování stroje u obrážení poskytuje větší prostor pro chyby obsluhy a tím vyšší úroveň zmetkovitosti. Protahování minimalizuje také vznik tvarových nepřesností, které u evolventního ozubení způsobují nebezpečné přetěžování části zubů.

Vysoká závislost efektivity protahování na vlastnostech nástroje vyžaduje optimální konstrukční řešení a bezchybné zhotovení protahovacího trnu. Navržená koncepce trnu využívá výhody složených nástrojů při zachování shodné funkce jakou plní nástroj celistvý. Teoretické poznatky lze uplatnit obecně i pro odlišné konstrukční koncepce.

Každé řešení obsahuje jistá rizika, přičemž snaha o vyvážení tohoto rizika možnostmi technického rozvoje, který do budoucna skýtá další příležitosti zdokonalení a zefektivnění výroby, je cesta správným směrem. Není možné spokojit se jen s tím co máme, ale je důležité uvažovat co bude. Toto sice přináší řadu problémů a rizik, ale bez využívání pokrokovějších technologií by pro nás neexistovala žádná uspokojivá budoucnost.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Ivanu Mrkvicovi za odborné vedení a vstřícný přístup, který mi v průběhu psaní této práce poskytoval.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MRKVICA, I. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů 1. část.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2008. 148 s. ISBN 978 – 80 – 248 –1053 – 9
- [2] SCHMITD, E. A kol. *Příručka řezných nástrojů.* Praha: SNTL Praha. 1974. 580 s.
- [3] HÁNA, J. *Nové poznatky z oblasti protahovacích nástrojů a technologie protahování.* Soubor přednášek ze semináře. Plzeň: ČSVTS Plzeň. 1982.
- [4] HÁNA, J. *Protahovací a protlačovací nástroje.* Soubor přednášek z kursu. Plzeň: ČSVTS Plzeň. 1986. 177 s.
- [5] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje 1. díl. Řezné nástroje.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2006. 192 s. ISBN 80 – 7078 – 941 – 7
- [6] RADOCHOVÁ, V. *Výpočet náhradní kružnice a míry přes válečky pro evolventní protlačovací trny.* Brno. 1966. 22 s. DT: 621.909.25.07
- [7] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2008. 91 s. ISBN 978 – 80 – 248 - 1290 – 8

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	výkres PT – 001
Příloha B	kusovník PT – 001.K
Příloha C	výkres PT – 001.01
Příloha D	výkres PT – 001.02
Příloha E	výkres PT – 001.03
Příloha F	výkres PT – 001.04
Příloha G	výkres PT – 001.05
Příloha H	výkres PT – 001.06
Příloha I	výkres PT – 001.07
Příloha J	výkres PT – 001.08
Příloha K	výkres PT – 001.09
Příloha L	výkres PT – 001.10
Příloha M	technologický postup pro výrobu protahovacího trnu PT – 001